Alat Peraga *Nose Landing Gear Extension/Retraction* Dengan Sistem Aktuasi *Electro-Pneumatic*: Perancangan Sistem Gerak *Pneumatic*

Tegar Muhammad Luthfi[1], Raden Ihsan Gabriel Hamidjaya[2], Teguh Wibowo[3*]

[1]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : tegar.muhammad.aer23@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : raden.ihsan.aer23@polban.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
[*]*E-mail korespondensi : teguh.wibowo@polban.ac.id*

ABSTRAK

Alat peraga sistem *landing gear extension retraction* berbasis pneumatik dengan sistem kontrol listrik yang dilengkapi dengan *safety interlock system* dibuat sebagai media pembelajaran. Sistem ini dikembangkan untuk mensimulasikan prinsip kerja *landing gear* pesawat. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan sistem *pneumatic*, penentuan komponen, proses perakitan alat, serta mengintegrasikan sistem aktuasi *pneumatic* dengan sistem kontrol listrik, dan tahap pengujian alat. "Perancangan Alat Peraga *Nose Landing Gear Extension/Retraction* Dengan Sistem Aktuasi *Electro-Pneumatic*: Perancangan Sistem Gerak *Pneumatic*" sebagai penelitian diharapkan hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa alat peraga yang dibuat mampu mensimulasikan gerakan *extension* dan *retraction* dengan baik serta dapat melakukan fungsi sistem kontrol *elektro-pneumatic* dalam pengoperasiannya, alat peraga ini selain ddilengkapi dengan *safety interlock* system juga dilengkapi *simulation control* lainnya yang terdiri dari *interlock failure*, *false indication*, dan *annunciator light test*. Alat ini diharapkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang dapat membantu mahasiswa Teknik Aeronautika dalam memahami prinsip kerja dasar sistem *landing gear extension retraction* dengan kontrol *elektro-pneumatic* dan *safety interlock system* secara lebih nyata.

Kata Kunci:
Landing gear, *Extension Retraction*, *Pneumatic System*, *Safety Interlock*, Media Pembelajaran

A pneumatic-based landing gear extension and retraction trainer with an electrical control system equipped with a safety interlock system was developed as a learning medium. This system was designed to simulate the operational principles of an aircraft landing gear. The methods used include literature study, pneumatic system design, component selection, tool assembly, integration of the pneumatic actuation system with the electrical control system, and testing stages. In "Design of a Nose Landing Gear Extension/Retraction Trainer with an Electro-Pneumatic Actuation System: Pneumatic Motion System Design," the expected result of this research is that the trainer can effectively simulate extension and retraction movements while performing the functions of an electro-pneumatic control system. In addition to the safety interlock system, this trainer is equipped with other simulation controls, including interlock failure, false indication, and annunciator light test. This apparatus is expected to serve as an effective learning medium to help Aeronautical Engineering students gain a practical understanding of the basic working principles of landing gear extension and retraction systems using electro-pneumatic controls and safety interlock systems.
Keywords:
Landing gear, Extension Retraction, Pneumatic System, Safety Interlock, Media Learning

1. PENDAHULUAN

Basic aircraft knowledge atau pengetahuan dasar mengenai pesawat adalah ilmu dasar tentang pesawat yang harus dimiliki sebagai seorang mahasiswa aeronautika. Salah satu pengetahuan dasar tersebut adalah dapat mengetahui mengenai *landing gear extension/retraction system* dan *safety interlock system* pada *landing gear*.

Untuk memudahkan pembelajaran, melakukan pembelajaran secara visual dianggap lebih baik, karena mahasiswa dapat mendapatkan teori dan juga visual dari materi yang dijelaskan secara nyata. Maka dari itu dibuatlah alat peraga *landing gear extension/ retraction* dengan sistem aktuasi *electro-pneumatic* dan dengan *sefety interlock system* serta *simulation controls*.

Landing gear system merupakan salah satu komponen penting pesawat udara yang berfunjngsi sebagai penopang beban pesawat saat berada di darat serta memungkinkan proses *take-off* dan *landing* berlangsung dengan aman.

Safety interlock pada *landing gear* adalah sistem keselamatan pada *landing gear* yang menggunakan sinyal dari *weight-on-wheels* (WoW) untuk menentukan apakah pesawat masih berada di *ground*, logika *interlock* akan memblokir perintah untuk *landing gear* melakukan pergerakkan *extend/retract*.

Pada penelitian ini penulis melakukan rancang bangun alat peraga *nose landing gear extension/retraction* dengan sistem aktuasi menggunakan *electro-pneumatic*. Yang dimana dalam pergerakkannya bereferensi kepada pergerakkan *nose landing gear* Boeing 737-500, meliputi waktu dan sudut gerak *extension/retraction*.
Hasil akhir dari penelitian ini adalah alat peraga *nose landing gear extension/retraction* menggunakan aktuasi *electro-pneumatic* dan terintegrasi dengan *safety interlock system*. Alat peraga yang dapat digunakan dan berkontribusi dalam pembelajaran mahasiswa teknik aeronautika khususnya mata kuliah *aircraft system*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

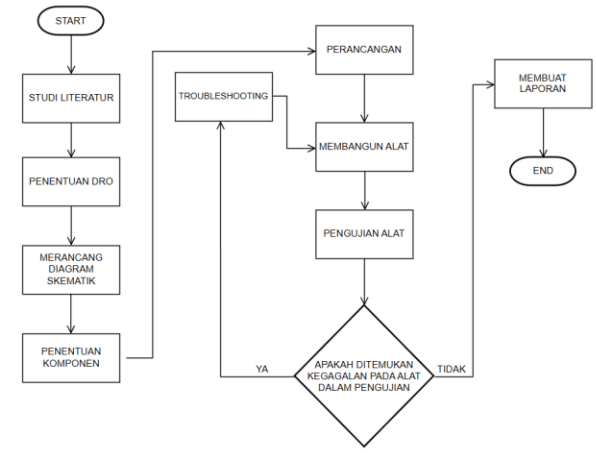
Setiawan, Haryati, dan Sugiharto (2019) Membuat penelitian berjudul "Perancangan Prototipe Simulator *Landing Gear System* Pesawat Terbang *Airbus A320* Berbasis Mikrokontroler". Mengembangkan prototipe *simulator landing gear* pesawat *Airbus A320* berbasis mikrokontroler. Sistem simulasi ini mengatur *extend* dan *retract* serta monitoring posisi *landing gear* menggunakan *sensor* IR *obstacle* sebagai pengganti sensor standar. Penelitian ini menunjukkan aplikasi mikrokontroler dalam simulasi sistem *landing gear* yang memuat kontrol, mekanik, dan indikator posisi (1).

Fadli Hidirsyah, Mufti Arifin, dan Riskha Agustianingsih (2024) Membuat rancang bangun alat berjudul "Rancang Bangun Alat Peraga *Ground Lock Main Landing Gear*". Merancang dan membangun alat peraga *Ground Lock* pada *main landing gear* sebagai media pembelajaran. Alat ini dibuat dalam bentuk model skala kecil yang portabel dengan menggunakan sistem hidrolik sederhana berbasis selang fleksibel dan suntikan medis sebagai pompa. Struktur alat menggunakan material aluminium dan akrilik sehingga ringan dan transparan untuk memudahkan observasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mensimulasikan mekanisme penguncian dan pelepasan *landing gear* dengan waktu sekitar 8,49 detik. Penelitian ini menekankan aspek visualisasi dan pemahaman mekanisme *Ground Lock* secara praktis, meskipun masih memiliki keterbatasan pada skala dan kompleksitas sistem (2).

Moch Rifal Fadiya (2021) Membuat rancang bangun alat berjudul "Rancang Bangun Panel Dinding Simulasi Sistem Hidrolik Roda Pendaratan Pesawat *Grand Commander* 680FL". Mengembangkan media pembelajaran sistem pesawat dilakukan melalui pembuatan panel dinding simulasi sistem hidrolik *landing gear Grand Commander 680FL* berbasis Arduino Mega 2560. Sistem ini menggunakan LED strip untuk memvisualisasikan aliran fluida hidrolik dan *motor servo* untuk mensimulasikan gerakan *landing gear*, sehingga mampu memperagakan urutan kerja sistem mulai dari tangki, pompa, *pressure regulator*, *selector valve*, hingga proses *retract* dan *extend* (3).

3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Pada penelitian ini metode penyelesaian masalah yang digunakan adalah diagram alir yang menjabarkan langkah demi langkah dari pengerjaan penyelesaian penelitian. *Flowchart* penyelesaian masalah tertera di bawah ini:



Gambar 1. *Flow Chart* Metode Penyelesaian Masalah

Seperti **Gambar 1** menunjukkan metode atau langkah penyelesaian masalah yang dilakukan untuk untuk penelitian ini, sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Tahap awal dalam pengerjaan penelitian ini adalah melakukan studi literatur terkait penelitian. Ini, berfungsi untuk memperdalam pemahaman terkait *landing gear extension/retraction*, *pneumatic system*, dan juga *safety interlock system*.

3.2 Penentuan *Design Requirement and Objectives*

Tahap penentuan DRO ini adalah tahap penentuan parameter untuk alat rancang bangun yang dibuat, ini nantinya akan menjadi acuan dari hasil akhir penelitian ini. DRO pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1** di bawah ini.

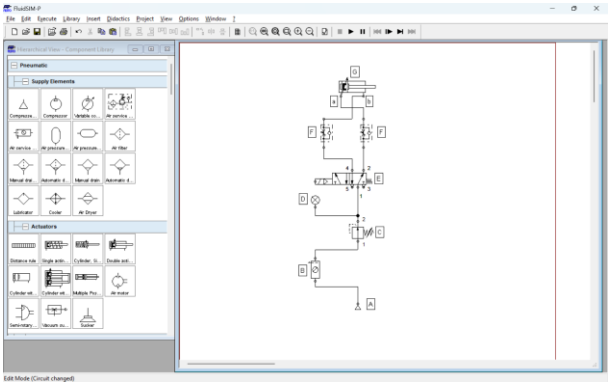
Tabel 1 *Design Requirement Objectives*

Parameter	Nilai
Landing gear extension retraction	90°
Nose landing gear extension time	6 – 7.5 detik
Nose landing gear retraction time	6 – 7.5 detik
Landing gear "down and locked" position	*Green LED ON*
Landing gear "up and locked" position	*All LED OFF*

3.3 Merancang Diagram Skematik

Tahap merancanng diagram skematik ini dilakukan pada *software FLUIDSIM*. Perancangan diagram skematik ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat dengan rancangan pneuamatik yang dibuat dapat bekerja pada alat *real* yang akan

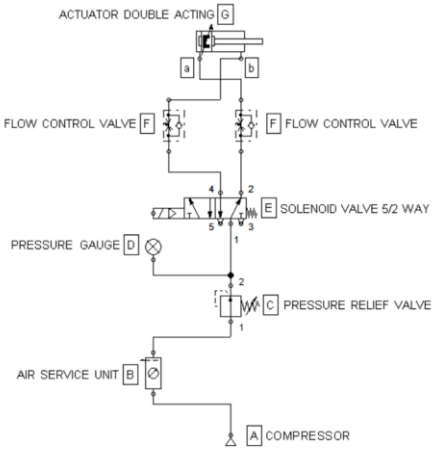
dibuat nanti, dan juga sekaligus sebagai bahan dalam penentuan komponen pneumatik apa saja yang digunakan pada alat peraga.



Gambar 2. Diagram Skematik *Pneumatic System*

3.4 Penentuan Komponen

Setelah melakukan proses perancangan digaram skematik, ditemukannya pula komponen-komponen yang dibutuhkan pada *pneumatic system* alat peraga. Adapun komponen-komponen yang dipakai pada alat peraga ini, dapat dilihat pada **Gambar 3**.

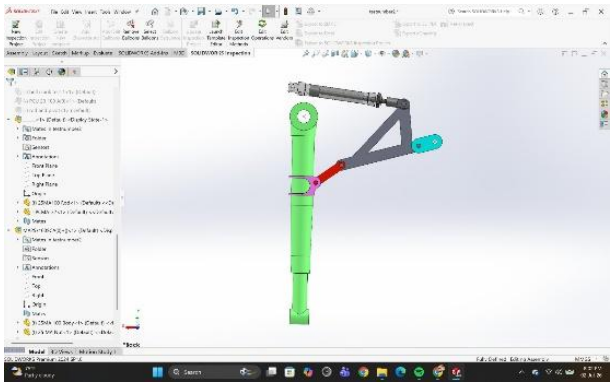


Gambar 3. Komponen Sistem Alat Peraga

3.5 Perancangan

Tahap perancngan di sini adalah tahap perancangan desain alat peraga, yang dimana in adalah proses pembuata desain alat peraga pada penelitian ini. Tahap pembuatan desai ini adalah menggunakan *software SOLIDWORKS*. Tahap ini juga mencakup simulasi gerakan pada desain, dan pemilihan material yang akan digunakan. Ini bertujuan untuk menghindari kegagalan saat alat *real* yang dibuat dan dapat berfungsi sebagaimana yang diinginkan.

Tahap desain ini meliputi, pembuatan desain alat peraga yang mencakup pembuatan desain *landing gear*, *linkage*, dan pembuatan desain box alat peraga.



Gambar 4. Proses Pembuatan Desain Alat Peraga

3.6 Membangun Alat Peraga

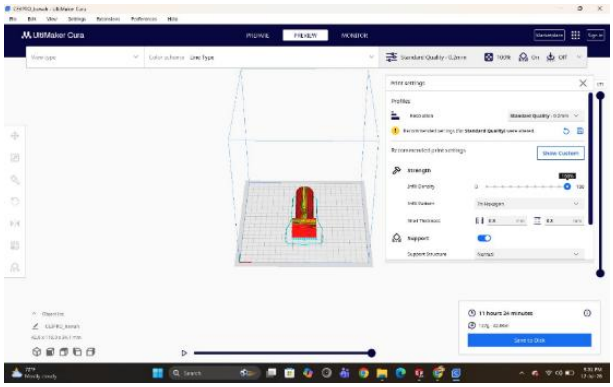
Proses membangun alat peraga ini mencakup manufaktur alat peraga, perangkaian komponen, dan melakukan integrasi antara *pneumatic system* dengan sistem kontrol sistem kontrol listrik.

3.6.1 Manufaktur Alat Peraga

Manufaktur alat peraga ini adalah proses pengerjaan manufaktur atau tahap realisasi hasil perancangan. Tahap manufaktur alat peraga ini dibagi menjadi 3 pengerjaan, yaitu manufaktur *nose landing gear*, manufaktur *linkage*, dan manufaktur box alat peraga.

3.6.1.1 Manufaktur *Nose Landing Gear*

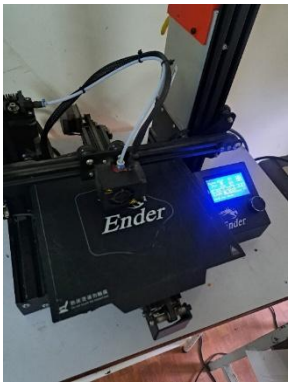
Tahap realisasi atau manufaktur *nose landing gear* ini menggunakan 3D Printing Filament, dengan jenis Filament PLA+. Proses pengerjaan ini meliputi pembagian segmen pada *nose landing gear*, melakukan pengaturan pada *ULTIMAKER CURA*, dan proses 3D Printing.



Gambar 5. Proses Pengerjaan *ULTIMAKER CURA*

3.6.1.2 Manufaktur *Linkage*

Manufaktur *linkage* ini dilakukan menggunakan 3D Printing Filament, dengan menggunakan jenis Filament PLA+. Proses pengerjaan ini meliputi pembagian segmen pada *nose landing gear*, melakukan pengaturan pada *ULTIMAKER CURA*, dan proses 3D Printing.



Gambar 5. Proses Printing

3.6.1.3 Manufaktur Box Alat Peraga

Manufaktur box alat peraga ini dibuat dengan menggunakan kayu pinus, yang dipasangkan dengan stiker skotlet putih dengan penutup akrilik sebagai penutup komponen pneumatik.

Gambar 6. Box Alat Peraga

3.6.2 Perangkaian Komponen

Perangkaian komponen dilakukan melalui beberapa tahap. Dengan tahap pengerjaan sebagai berikut:

1. Pemasangan *Fittings*
   Pemasangan *fititng* sebagai sambungan atau *connector* pada setiap komponen. *Fitting* ini akan dipasangkan pada setiap komponen, sebelum dilakukan pemasangan pada komponen dilakukan pemasangan *seal tape* pada ulir *fitting* agar tidak terjadi kebocoran saat sistem berjalan.
2. Penyambungan *Hose*
   Penyambungan *hose* (selang) ini dilakukan dengan memasukkan selang kepada luba *fitting*.
3. Penghubungan Jalur Kerja
   Penghubungan jalur kerja ini merajuk kepada hasil skematik sistem pneumatik yang telah dibuat.
4. Pemasangan *Pneumatic Mufflers*
   Pemasangan *pneumatic mufflers* ini bertujuan untuk mereda suara bersesi yang keluar melalui komponen yang melakukan pembuangan udara bertekanan.
5. Mengatur Tata Letak Pada Alat Peraga
   Setelah hasil manufaktur dari alat peraga selesai, maka proses pengaturan tata letak sesuai dengan perancangan yang telah dibuat dilakukan.

3.6.3 Mengintegrasikan *Pneumatic System* Dengan Sistem Kontrol Listrik

Tahap pengintegrasian antara sistem pneumatik dengan sistem kontrol listrik pada alat peraga ini bertujuan untuk menghasilkan sistem aktuasi yang dapat dikendalikan. Sistem kontrol listrik berperan sebagai pemberi sinyal untuk nantinya sistem pneumatik melakukan mekanis sebagai hasil akhir dari sistem. Sistem kontrol listrik ini juga termasuk kedalam logika *safety interloc system*.

3.7 Pengujian Alat

Setelah alat peraga selesai dibuattm, dilakukan langkah atau tahapan pengujian. Pengujian alat ini meliputi pengujian gerak *landing gear*, dan pengujian repetisi alat peraga. Pengujian ini mengacu kepada DRO yang telah ditetapkan sebagai acuan untuk alat peraga ini.

3.8 Penyusunan Laporan

Tahap terakhir adalah penyusunan laporan penelitian yang merangkum seluruh rangkaian proses.

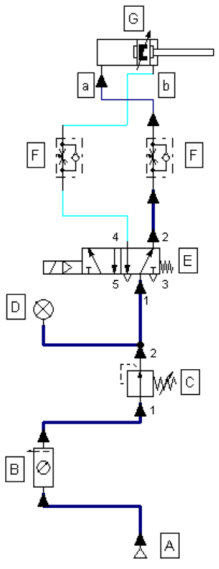
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Skema Sistem Pneumatik

Hasil skema sistem pneumatik ini terbagi menjadi 2 *sequence*. Yaitu, saat *landing gear* posisi “UP”, dan saat *landing gear* pada posisi “DOWN”.

4.1.1 *Sequence* Pada Posisi *Landing Gear* “UP”

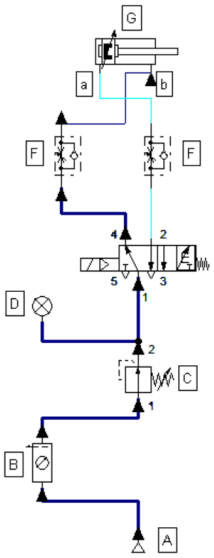
Hasil *sequence landing gear* pada posisi “UP”, dapat dilihat pada **Gambar 7**. *Sequence* tersebut memiliki hasil akhir yaitu “posisi *landing gear* UP (*retract*) = *cylinder actuator* (*extend*)”.



Gambar 7. *Sequence Retracted*

4.1.2 *Sequence* Pada Posisi *Landing Gear* "DOWN"

Hasil *sequence landing gear* pada posisi "UP", dapat dilihat pada **Gambar 8**. *Sequence* tersebut memiliki hasil akhir yaitu "posisi *landing gear* DOWN (*extend*) = *cylinder actuator* (*retract*)".



Gambar 8. *Sequence Extend*

4.2 Hasil Manufaktur Alat Peraga

4.2.1 Hasil Manufaktur *Landing Gear*

Hasil manufaktur *landing gear* ini dengan 3D Printing Filament. Dengan waktu pengerjaan selama 88 jam 22 menit dan menghabiskan 814 gram Filament.

Gambar 9. Hasil Manufaktur *Landing Gear*

4.2.2 Hasil Manufaktur *Linkage*

Hasil manufaktur *linkage* ini dengan 3D Printing Filament. Dengan waktu pengerjaan selama 22 jam 15 menit dan menghabiskan 423 gram Filament.

Gambar 10. Hasil Manufaktur *Linkage*

4.2.3 Hasil Manufaktur Box Alat Peraga

Hasil manufaktur box alat peraga ini dengan kayu pinus. Dengan waktu pengerjaan selama 2 hari.

Gambar 11. Hasil Manufaktur Linkage

4.3 Hasil Perakitan Alat Peraga

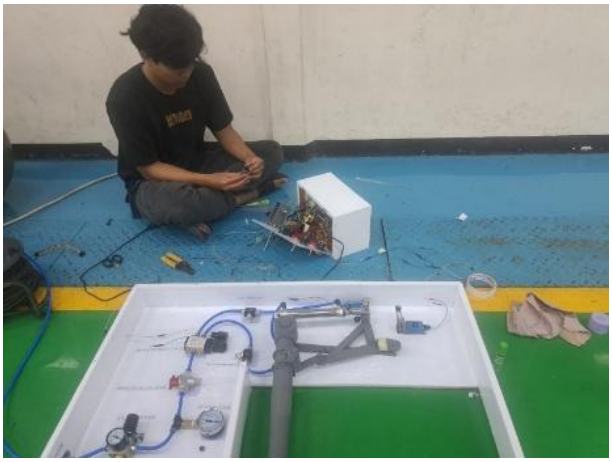
4.3.1 Perangkaian Komponen

Setelah hasil manufaktur alat peraga selesai, dilakukan proses pengerjaan perangkaian komponen pada box alat peraga. Hasil perangkaian komponen dibuat semudah mungkin untuk dipahamai sebagaimana alat peraga alat media pembelajaran.

Gambar 12. Hasil Perangkaian Komponen

4.4 Hasil Integrasi *Pneumatic System* Dengan Sistem Kontrol Listrik

Pengintegrasian antara sistem pneumatik dan sistem kontrol listrik pada alat peraga *landing gear extension/retraction* bertujuan untuk menghasilkan sistem aktuasi yang dapat dikendalikan. Sistem kontrol listrik berperan sebagai pemberi sinya (*input*), sedangkan sistem pneumatik berfungsi sebagai penghasil tenaga (*outout*) berupa gerakan mekanis.



Gambar 13. Proses Integrasi Sistem

4.5 Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang dilakukan ini beracuan kepada DRO. Yang dimana ini meliputi pengujian gerak *landing gear*, dan pengujian repetisi alat peraga.

Hasil pengujian memiliki parameter dengan merajuk kepadaan *nose landing gear* pada pesawat Boeing 737-500. Namun, parameter yang digunakan hanya meliputi gerakan dan rentang waktu yang digunakan untuk melakukan gerakan *extension* dan *retraction*.

4.5.1 Hasil Pengujian Gerak *Landing Gear*

Pengujian gerak *landing gear* ini mencakup sudut gerakan dan waktu pergerakan *landing gear*. Ini mengacu dengan DRO yang diambil mengikuti waktu dan sudut gerak dari pesawat Boeing 737-500. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengujian Gerak *Landing Gear*

Percobaan	Retraction		Extension	
	Waktu (s)	Pergerakan (°)	Waktu (s)	Pergerakan (°)
1	6,31	90°	6,42	90°
2	6,16	90°	6,42	90°
3	6,44	90°	6,35	90°
4	6,23	90°	6,44	90°
5	6,48	90°	6,22	90°
6	6,96	90°	6,41	90°
7	6,61	90°	6,44	90°
8	6,61	90°	6,36	90°
9	6,54	90°	6,56	90°
10	6,49	90°	6,69	90°

4.5.2 Hasil Pengujian Repetisi Alat Peraga

Pengujian repetisi pada alat peraga ini bertujuan untuk mengetahui apakah alat peraga sebagai alat media pembelajaran dapat dipakai dalam intensitas padat sebagaimana kegiatan belajar mengajar pada aktivitas pendidikan dilakukan. Pengujian ini meliputi waktu dan sudut *extend* dan *retract*, *landing gear status*, *weight-on-wheels*, *interlock failure*, *false indication*, dan *annunciator light test*. Hasil Pengujian tercantum pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengujian Repetisi Alat Peraga

Siklus Ke-	Retraction	Extension	Landing Gear Status	Simulation Controls
1 – 5	Sesuai	Sesuai	Sesuai	Works
6 – 10	Sesuai	Sesuai	Sesuai	Works
11 – 15	Sesuai	Sesuai	Sesuai	Works
15 – 20	Sesuai	Sesuai	Sesuai	Works
21 – 25	Sesuai	Sesuai	Sesuai	Works
26 – 30	Sesuai	Sesuai	Sesuai	Works

4.6 Pembahasan

Bedasarkan seluruh hasil pengerjaan penelitian sampai dengan tahap pengujian. Seluruh hasilnya memenuhi DRO yang telah ditetapkan. Hasil perancangan dan manufaktur dapat bekerja sesuai yang diharapkan.

Sistem aktuasi penggerak dan alat peraga dapat menghasilkan gerakan *landing gear* dengan sudut 90◦ dan waktu operasi dengan rentang 6 - 7.5 detik sesuai dengan karakteristik pesawat Boeing 737-500. Selain itu juga sistem kontrol listrik berhasil terintegrasi dengan baik, kerja antara *actuator*, sensor, dan indikator sesuai dengan yang dirancang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa indikator dapat mengindikasikan posisi *landing gear* sesuai dengan pergerakkan dan kontrol yang diberikan. Ini menunjukkan bahwa hasil akhir sesuai dengan yang diharapkan.

Fitur *safety interlock system* berhasil menjalankan fungsi proteksi keselamatan pada *landing gear* dengan benar dan sesuai. *Weight-on-wheels* berhasil diterapkan pada alat peraga. Begitu juga *simulation controls* yang terdiri dari *safety interlock failure false indication*, dan *annunciator light test*.

Pengujian repetisi sebagai parameter keandalan alat peraga memperlihatkan bahwa performa alat tetap konsisten selama pengoperasian berulang tanpa menunjukkan kendala pada sistem alat peraga dan dengan tingkat keberhasilan 100%. Dengan demikian, alat peraga yang dibuat telah memenuhi tujuan dan layak sebagai media pembelajaran praktikum sistem *landing gear*, sistem indikasi, dan implementasi *safety interlock system* pada operasi *landing gear* pada pesawat.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, manufaktur, dan pengujian terhadap alat peraga *landing gear extension* dengan sistem aktuasi *electro-pneumatic*, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang dan direalisasikan sebuah alat peraga sistem *landing gear extension retraction* dengan menggunakan sistem aktuasi *electro-pneumatic* sebagai media pembelajaran.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme *landing gear* mampu melakukan gerakan *extension* dan *retraction* 90° dengan waktu operasi berada pada rentang 6 – 7.5 detik, sehingga karakteristik gerakan alat tekah sesuai dengan DRO serta mendekati kartakteristik *nose landing gear* Boeing 737-500 yang dijadikan acuan dan referensi.
3. *Safety interlock system* dan *simulation controls* telah berfungsi sesuai dengan logika kontrol yang dirancang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mensimulasikan kondisi operasional normal maupun abnormal sehingga dapat meningkatkan pemahaman pengguna terhadap prinsip kerja sistem keselematan *landing gear* pada pesawat.
4. Pengujian repetisi untuk menunjukkan keandalan dari alat peraga menunjukkan bahwa alat peraga mampu bekerja secara konsisten tanpa mengalami kegagalan. Sehingga alat dinilai layak digunakan sebagai media pembelajaran.
5. Secara keseluruhan, alat peraga yang dibuat telah memenuhi tujuan, yaitu menghasilkan media pembelajaran yang tidak hanya mampu mensimulasikan gerakan mekanis *landing gear*, tetapi juga mensimulasikan *safety interlock system* yang diterapkan pada sistem *landing gear* pesawat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setiawan B, Haryanti M, Sugiharto DA. Perancangan Prototipe Simulator Landing Gear System Pesawat Terbang Airbus a320 Berbasis Mikrokontroler. 2019;116–25.
2. Fadli Hidirsyah, Mufti Arifin, Riskha Agustianingsih. Rancang Bangun Alat Peraga Ground Lock Main Landing Gear. J Teknol Kedirgant. 2024;9(2):88–97.
3. Pendaratan R, Grand P. Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT), Politeknik Negeri Bengkalis. 2021;628–37.
4. GMF Aeroasia. Module 9 Aircraft Structure Basic Aircraft Maintenance Airframe Powerplant. 2015;200.
5. Moir I, Seabridge A. Aircraft Systems. Third Edit. Moir I, Seabridge A, editors. Great Britain: British Library; 2007. 550 p.
6. ADMINISTRATION FA, editor. FAA-H-8083-31-AMT-Airframe-Vol-2.pdf. United States: U.S. Department of Transportation; 2012. 564 p.
7. Sadraey MH. Chapter 9 Landing Gear Design Mohammad Sadraey Daniel Webster College Table of Contents. 2013;
8. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Aircraft Maintenance Technician Handbook - Airframe. 2023;1052. Available from: www.faa.gov
9. Papoutsidakis M. Hydraulics and Pneumatics : Operational Characteristics and Control for Modern Industry Applications. 2019;178(25):31–40.
10. Gordana Janevska, editor. Basics of pneumatics -. Vol. 1. Sofia, Bulgaria: University “St. Kliment Ohridski” – Bitola Faculty; 2022. 119 p.
11. Festo. Festo. [cited 2026 Apr 22]. Pneumatic Component. Available from: https://www.festo.com/id/en/c/products-id_pim1/
12. WAALPC. WAALPC. [cited 2026 Apr 26]. Pressure Relief Valve. Available from: https://www.waalpc.com/Residual-Pressure-Relief-Valve-SMC-Type-1-8-1-4-NPT-Port-Adjustable-Pressure-Release-for-Hydraulic-Pneumatic-Systems-CE-ISO-Certified-pd567597058.html
13. Rickles D, Smeenk C, Lyre H. Gauge pressure. Metascience. 2009;18(1):5–41.
14. 07 - Valves and solenoid valves -.
15. Airtac. ATAC. [cited 2026 Apr 26]. Solenoid Valve. Available from: https://atac.co.id/produk/4v100-series-solenoid-valve-5-2-way-5-3-way/
16. SEALEXCEL. SEALEXCEL. [cited 2026 Apr 26]. Pneumatic Flow Control Valve Operations: Mastering a Comprehensive Guide. Available from: https://sealexcel.com/pneumatic-flow-control-valve-operations-mastering-a-comprehensive-guide/