

# Modifikasi dan Pengujian Pitot-Static Tester untuk mendukung Praktikum Instrumen Penerbangan

M. Radhiya Salman Abhiyantara<sup>1</sup>, Teguh Wibowo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : m.radhiya.aer22@polban.ac.id

E-mail Corresponding Author : teguh.wibowo@polban.ac.id

## ABSTRAK

Pitot-static tester merupakan alat penting dalam praktikum instrumen penerbangan karena digunakan untuk mengukur kecepatan udara, ketinggian, dan laju vertikal. Di Politeknik Negeri Bandung, alat ini belum dilengkapi kontrol tekanan manual dan indikator tekanan, serta terdapat instrumen yang tidak berfungsi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan fungsi alat dengan menambahkan sistem kontrol manual, indikator tekanan, serta mengganti instrumen yang rusak. Pengujian dilakukan terhadap altimeter dan vertical speed indicator (VSI) untuk memastikan akurasi pembacaan. Metode meliputi studi literatur, perancangan sistem, instalasi komponen, dan simulasi tekanan menggunakan vacuum pump. Hasil menunjukkan bahwa altimeter memberikan pembacaan mendekati standar ISA dengan selisih maksimal 340 ft, dan VSI merespons sesuai saat simulasi pendakian dan penurunan. Setelah dimodifikasi, alat memberikan tekanan yang lebih stabil dan mudah dikendalikan. Hasil ini mendukung kegiatan praktikum yang lebih efektif dan membantu mahasiswa memahami prinsip kerja sistem pitot-static.

### Kata Kunci

Pitot-static tester, Altimeter, VSI, Kontrol tekanan, Praktikum penerbangan

*The pitot-static tester is an essential tool in flight instrumentation training, used to measure airspeed, altitude, and vertical speed. At Politeknik Negeri Bandung, the existing tester lacks precise pressure control, proper pressure indicators, and some instruments are non-functional. This study aims to improve the device by adding a manual control system, pressure indicators, and replacing damaged instruments. Testing was conducted on the altimeter and vertical speed indicator (VSI) to verify their accuracy. The methods included literature review, system design, component installation, and pressure simulation using a vacuum pump. Results showed that the altimeter provided readings close to the ISA standard, with a maximum deviation of 340 ft, and the VSI responded appropriately during simulated climb and descent. After modification, the tester delivered more stable and controllable pressure. These improvements support more effective laboratory activities and help students better understand the principles of the pitot-static system.*

### Keywords

*Pitot-static tester, Altimeter, VSI, Pressure control, Aeronautical training*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem *pitot-static* merupakan sistem penting dalam penerbangan yang digunakan untuk memberikan informasi mengenai kecepatan udara, ketinggian, dan laju vertikal pesawat melalui instrumen seperti *altimeter*, *airspeed indicator* (ASI), dan *vertical speed indicator* (VSI). Pemahaman terhadap prinsip kerja sistem ini menjadi salah satu materi penting dalam pendidikan vokasi aeronautika (1).

Di Politeknik Negeri Bandung telah tersedia alat *pitot-static tester* sebagai media pembelajaran untuk mahasiswa D3 Teknik Aeronautika. Namun, alat tersebut belum sepenuhnya optimal karena tidak dilengkapi dengan sistem kontrol manual dan indikator tekanan yang memadai. Selain itu, beberapa instrumen, seperti ASI, juga mengalami kerusakan sehingga tidak dapat digunakan dalam praktikum. Pengaturan tekanan udara selama pengujian pun masih dilakukan secara manual tanpa referensi angka yang pasti, sehingga menyulitkan simulasi yang akurat (2) (3). Akibatnya, kegiatan praktikum menjadi kurang efektif dan kurang representatif dalam mensimulasikan kondisi penerbangan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan pengembangan dan pengujian pada alat *pitot-static tester*. Pengembangan difokuskan pada penambahan sistem kontrol manual dan indikator tekanan, sedangkan pengujian dilakukan terhadap instrumen *altimeter* dan VSI. Penelitian ini bertujuan agar alat dapat kembali digunakan secara maksimal sebagai media pembelajaran praktikum instrumen penerbangan secara akurat dan interaktif (4).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

John V. Foster dan Kevin Cunningham (2010), menyusun paper dengan judul "*A GPS-Based Pitot-Static Calibration Method Using Global Output-Error Optimization*" yang dipublikasikan di AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference di Orlando, Florida, Amerika Serikat, menyatakan dalam penelitian mereka tentang metode kalibrasi pitot static berbasis GPS, pengujian tekanan udara yang akurat diperlukan untuk memastikan instrumen seperti *airspeed indicator* dan *altimeter* berfungsi dengan baik, terutama dalam situasi yang dinamis di penerbangan. Metode kalibrasi ini membantu memvalidasi akurasi data yang dikumpulkan oleh instrumen di pesawat (3).

Basic Air Data (2020) melalui salah satu situs teknis mereka dengan judul situs halaman “*Pitot-Static Probe Calibrator*”, menyampaikan bahwa desai alat *pitot-static tester* yang ideal sebaiknya memungkinkan pengguna untuk mengontrol tekanan secara manual maupun otomatis. Komponen seperti katup *bypass* dan manometer referensi membantu mengurangi kesalahan pengukuran selama nproses pengambilan data (8). Selain itu, kontruksi alat yang ringkas dan portable juga disarankan untuk memberikan fleksibilitas penggunaannya di berbagai kondisi pengujian (5).

Pilot John International (2024) dalam artikelnya yang berjudul “*Understanding Pitot-Static Testing and Its Importance in Aircraft performance*” menjelaskan tentang langkah-langkah pengujian sistem *pitot-static*, mulai dari pemasangan alat uji ke *pitot tube* dan *static port*, simulasi tekanan sesuai kondisi penerbangan, serta pengujian kebocoran (6).

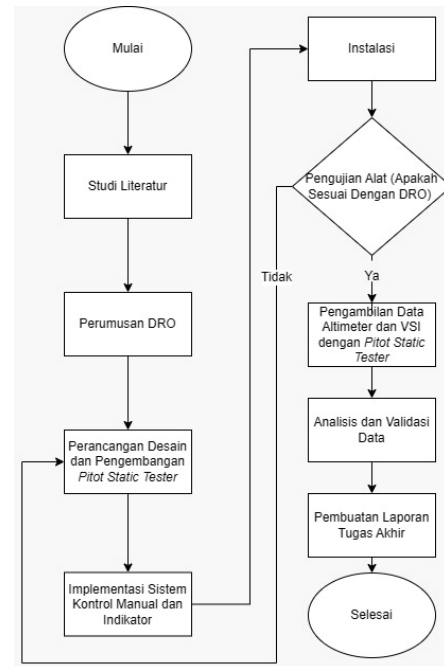
Jurado dan McGehee (2018) dalam jurnal yang berjudul “*Complete Online Algorithm for Air Data System Calibration*” menyoroti pentingnya teknik pengujian yang dapat meningkatkan keakuratan pengumpulan data pada sistem *pitot-static* (4).

Kevin Tanaka (2021) dalam jurnal “*Effect of Temperature on Static Pressure Calibration*” menjelesakna bahwa selain tekanan, temperatur udara juga memengaruhi akurasi pembacaan tekanan statis dalam sistem *pitot-static* (8).

S. Patel and L. Gomez (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “*Laboratory Simulation of Air Data Instruments*” menegaskan bahwa penggunaan alat peraga seperti *pitot-static tester* dalam kegiatan laboratorium pendidikan aeronautika tidak hanya meningkatkan pemahaman teoritis mahasiswa terhadap prinsip kerja instrumen penerbangan, tetapi juga secara signifikan memperkuat kemampuan analisis gangguan sistem tekanan udara secara praktis. Mereka menunjukkan bahwa keterlibatan langsung mahasiswa dalam mengoperasikan dan menguji instrumen tekanan menghasilkan peningkatan pemahaman konseptual serta kesiapan kerja yang lebih tinggi dalam dunia industri penerbangan (11).

### 3. METODE PENYELESAIAN

Metode penyelesaian masalah pada penelitian ini dilakukan secara sistematis, dimulai dari studi literatur untuk memahami konsep dasar sistem *pitot-static* dan instrumen penerbangan. Tahap berikutnya adalah perumusan kebutuhan desain, perancangan sistem, dan implementasi komponen kontrol tekanan. Setelah alat selesai dirakit, dilakukan pengujian instrumen serta analisis data untuk mengevaluasi kinerja sistem. Proses ini disusun secara berurutan agar pengembangan dan pengujian berjalan efektif dan sesuai tujuan. Alur lengkap dari proses penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1. berikut:



Gambar 1. Flowchart Penyelesaian Masalah

#### 3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman menyeluruh mengenai sistem *pitot-static*, cara kerja instrumen penerbangan seperti *altimeter*, *airspeed indicator* (ASI), dan *vertical speed indicator* (VSI), serta pendekatan dalam pengujian dan pengumpulan data yang sesuai standar.

Dalam studi ini, dipelajari konsep dasar tekanan udara yang digunakan sebagai input utama oleh instrumen penerbangan. *Altimeter* bekerja dengan membaca tekanan statis untuk menunjukkan ketinggian, altimeter bekerja berdasarkan prinsip kapsul aneroid yang mengembang atau mengempis akibat perubahan tekanan statis, sebagaimana dijelaskan dalam manual FAA (7). ASI menggunakan selisih tekanan total dan tekanan statis untuk menampilkan kecepatan udara, sementara VSI mengukur laju perubahan tekanan statis untuk menunjukkan laju vertikal. Pergerakan jarum VSI tergantung pada pembeda tekanan antara casing dan diafragma yang teredam oleh restrictor (10).

Pitot tube berperan mengukur tekanan total yang terdiri dari komponen statis dan dinamis (9). Selain itu, dikaji pula penggunaan *pitot-static tester* sebagai alat bantu dalam simulasi kondisi penerbangan di darat. Informasi dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, standar internasional, serta manual teknis FAA, untuk mendukung desain ulang, pengembangan, dan pengujian fungsi alat. Pemahaman ini menjadi dasar untuk menentukan kebutuhan desain, metode pengujian, dan validasi kinerja instrumen.

Desain alat peraga ini juga terinspirasi dari pendekatan sistem pengujian terkomputerisasi yang dikembangkan oleh Abdelrahman di mana sistem *pitot-static* diintegrasikan dengan sensor tekanan digital dan antarmuka komputer untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi proses kalibrasi. Sistem tersebut memungkinkan pengguna untuk memantau perubahan tekanan secara real-time melalui layar komputer, menyimpan data pengujian untuk keperluan analisis lebih

lanjut, serta mendeteksi kebocoran atau ketidaksesuaian tekanan secara otomatis. Konsep ini menjadi acuan penting dalam pengembangan sistem uji modern yang praktis, edukatif, dan mudah dioperasikan di lingkungan laboratorium pendidikan (12).

Desain tester ini memadukan rekomendasi praktis dari *Airdata Corporation* terkait penggunaan indikator tekanan langsung analog yang memiliki tingkat respons cepat dan akurasi tinggi, yang lazim digunakan dalam sistem uji lapangan profesional. Selain itu, pengembangan bentuk dan konfigurasi alat juga mengikuti prinsip konstruksi portable tester laboratorium yang menekankan efisiensi ruang, kemudahan mobilitas, dan kemudahan pemantauan tekanan oleh operator secara visual langsung tanpa intervensi perangkat lunak tambahan. Prinsip ini memungkinkan alat dapat digunakan secara mandiri di berbagai kondisi ruang kelas atau bengkel praktik, tanpa mengorbankan akurasi pengukuran tekanan dalam simulasi kondisi penerbangan (15).

### 3.2 Design Requirements and Objectives (DRO)

Bagian ini menjelaskan Design Requirement Object (DRO). DRO ini mencakup kebutuhan wajib (Must) dan keinginan tambahan (Wishes) yang menjadi acuan dalam proses desain, kategori Functional, Operation, Frame, Safety, Production installation, dan Maintenance. Informasi lengkap mengenai DRO ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Design Requirement and Objective

Kategori	Kebutuhan Desain	Nilai
Fungsional	Simulasi tekanan pitot: 0 – 25 PSI	Wajib
	Simulasi tekanan vakum: 0 – (-5) inHg	Wajib
	Dilengkapi indikator tekanan (pressure & vacuum gauge)	Wajib
	Presisi pengaturan tekanan: ±0.01	Wajib
	Simulasi vertical speed hingga 500 fpm, akurasi ±20 fpm	Wajib
Operasional	Digunakan selama 2–4 jam tanpa kegagalan	Wajib
	Dapat mengambil minimal 10 data uji	Wajib
	Pengoperasian mudah dengan kontrol berlabel	Wajib
	Panduan penggunaan dalam Bahasa Indonesia	Wishes
Struktur (Frame)	Berat tambahan komponen tidak melebihi 1.5 kg	Wajib
	Berat total alat tetap portable (6–11 kg)	Wajib
	Dimensi panel: 80 × 63 × 132 cm	Wajib
Instalasi	Dapat dirakit dengan alat sederhana dalam waktu 1–5 hari	Wajib
	Komponen mudah didapat di pasaran lokal	Wajib
	Sistem dapat dibongkar-pasang untuk penyimpanan/transportasi	Wajib
Perawatan	Komponen mudah dibersihkan dan diganti	Wajib

Kategori	Kebutuhan Desain	Nilai
	Valve/fitting dapat diganti tanpa bongkar total	Wajib
	Tahan pakai minimal 2 tahun dengan perawatan ringan	Wishes

### 3.3 Perancangan Desain dan Pengembangan Pitot-Static Tester

Tahap perancangan dimulai dengan mengidentifikasi kebutuhan desain berdasarkan Design Requirement Objective (DRO), yaitu alat harus mampu mensimulasikan tekanan hingga 25 PSI dan vakum hingga -5 inHg, dilengkapi indikator tekanan, mudah dirakit, portabel, dan sesuai dimensi panel yang ditentukan. Kesalahan sekecil 0.1 inHg pada altimeter dalam kondisi instrument flight rules dapat menyebabkan deviasi lebih dari 100 kaki, yang berisiko pada fase pendekatan (14).

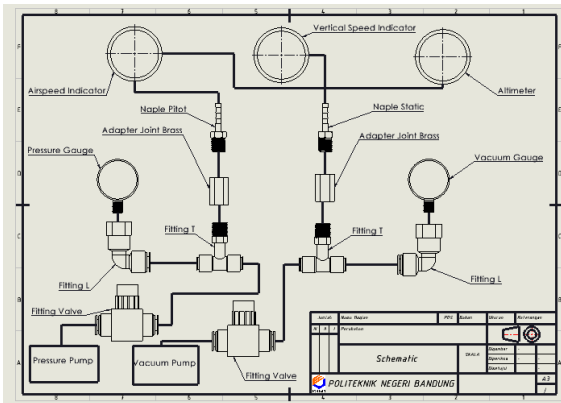
Desain alat ini mengacu pada standar laboratorium pendidikan yang memungkinkan tekanan disimulasikan secara portabel dengan berat kurang dari 12 kg (13).

Selain aspek fungsional, dilakukan pula pembaruan pada tampilan alat seperti penggantian stiker panel yang sudah rusak. Kondisi awal alat sebelum dilakukan modifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kondisi Pitot-Static Tester Sebelum di Tingkatkan

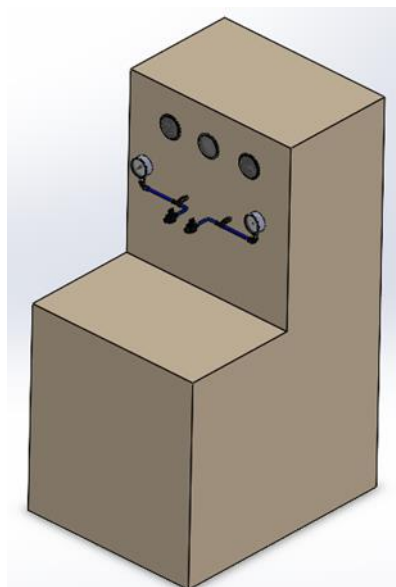
Rangkaian sistem dirancang agar aliran udara dari *pressure compressor* dan *vacuum pump* dapat disalurkan ke instrumen *altimeter*, ASI, dan VSI secara efisien. Rangkaian ini mencakup komponen utama seperti *gauge*, *fitting*, *valve*, dan selang PU. Desain fisik panel dibuat dari kayu lapis berlapis *wallpaper*, dengan tata letak komponen yang ergonomis dan mudah diakses. Skematik alur sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Schematic Pitot-Static Tester

### 3.4 Instalasi Alat

Setelah proses perakitan selesai, alat pitot-static tester dipindahkan ke laboratorium dan ditempatkan di atas permukaan datar untuk menjaga kestabilan saat digunakan. Instalasi dilakukan mengikuti rancangan skematik sistem yang telah dibuat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. berikut:



Gambar 4. Desain Alur Sistem

Jalur tekanan dari *compressor* dan *vacuum pump* dihubungkan ke instrumen menggunakan *fitting* dan selang PU, dengan komponen utama seperti *gauge* dan *valve* terpasang sesuai posisi pada panel. Instrumen *altimeter*, VSI, dan ASI dipasang pada bagian depan panel dan terhubung ke jalur tekanan internal. Dengan desain yang ringkas dan bobot sekitar 6–7 kg, alat memenuhi syarat portabilitas dan siap digunakan untuk praktikum sistem *pitot-static*.

### 3.5 Pengujian Alat

Pengujian dilakukan terhadap instrumen altimeter dan vertical speed indicator (VSI) menggunakan tekanan statis dari pitot-static tester. Altimeter dihubungkan ke jalur tekanan statis, lalu diberikan tekanan vakum secara bertahap dari 0 hingga -4.66 inHg. Hasil menunjukkan bahwa pembacaan ketinggian meningkat seiring penurunan tekanan. Selisih maksimum tercatat  $\pm 340$  ft jika

dibandingkan dengan nilai pada Tabel 1. yaitu tabel referensi tekanan dan ketinggian berdasarkan International Standard Atmosphere (ISA).

Tabel 2. Referensi Ketinggian ISA

Altitude (ft)	Static Pressure (inHg)	$\Delta P$ (inHg dari 27.28)
0	27.28	0
1000	26.29	-0.99
2000	25.32	-1.96
3000	24.34	-2.94
4000	23.59	-3.69
5000	22.62	-4.66

VSI diuji dengan perubahan tekanan statis yang dilakukan secara cepat dan perlahan. Ketika tekanan diturunkan dengan cepat, jarum menunjukkan nilai positif (*UP*), dan saat tekanan dinaikkan perlahan, jarum menunjukkan nilai negatif (*DOWN*). Respons jarum sesuai dengan prinsip kerja VSI, menandakan bahwa instrumen masih berfungsi dengan baik dan layak digunakan dalam pembelajaran.

ASI tidak dapat diuji karena mengalami kerusakan mekanis yang menyebabkan pembacaan tidak wajar meskipun hanya diberikan tekanan rendah.

### 3.6 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada dua instrumen utama, yaitu altimeter dan vertical speed indicator (VSI), menggunakan pitot-static tester dengan tekanan yang diatur secara manual melalui fitting valve. Instrumen altimeter dihubungkan ke jalur tekanan statis dan diberikan tekanan vakum secara bertahap dari 0 hingga -4.66 inHg. Untuk setiap tekanan yang diberikan, pembacaan ketinggian dicatat dan dibandingkan dengan referensi ketinggian berdasarkan Tabel ISA yang telah disesuaikan dengan tekanan lokal sebesar 27.28 inHg.

Sementara itu, pengambilan data pada VSI dilakukan dengan memberikan perubahan tekanan statis secara cepat dan perlahan. Saat tekanan diturunkan cepat, instrumen menunjukkan laju pendakian positif (*UP*), dan saat tekanan dinaikkan perlahan, instrumen menunjukkan laju penurunan (*DOWN*). Pembacaan VSI diamati dan dicatat pada setiap perubahan tekanan untuk dievaluasi terhadap konsistensinya dengan prinsip kerja VSI.

Seluruh hasil dicatat dalam tabel, dan perbandingan terhadap standar dilakukan guna menilai akurasi respons masing-masing instrumen. Dokumentasi visual juga diambil untuk menunjukkan pergerakan jarum secara langsung selama pengujian.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Instalasi Alat

Instalasi pitot-static tester dilakukan berdasarkan skematik sistem dan layout panel yang telah dirancang sebelumnya. Komponen seperti pressure gauge, vacuum gauge, fitting valve, nepel, dan selang PU dipasang pada panel utama sesuai dengan posisi yang telah direncanakan. Jalur tekanan dari compressor dan vacuum pump berhasil dihubungkan ke

instrumen pengujian melalui sistem kontrol manual yang telah terpasang

Instrumen altimeter, VSI, dan ASI juga telah dipasang pada bagian depan panel, namun hanya altimeter dan VSI yang digunakan dalam tahap pengujian karena ASI mengalami kerusakan. Alat yang telah selesai dirakit ditunjukkan pada Gambar 2. dan Gambar 3. sebagai hasil akhir dari proses instalasi. Seluruh komponen terpasang dengan rapi dan berfungsi sebagaimana mestinya. Tidak ditemukan kebocoran, dan indikator tekanan menunjukkan respons sesuai saat dilakukan pengecekan awal. Hal ini menunjukkan bahwa alat telah siap digunakan untuk kegiatan praktikum sistem pitot-static.



Gambar 5. Hasil Instalasi Keseluruhan



Gambar 6. Hasil Instalasi Sistem Kontrol Manual dan Indikator

#### 4.2 Hasil Pengujian Instrumen

Pengujian dilakukan terhadap dua instrumen, yaitu altimeter dan vertical speed indicator (VSI), dengan menggunakan tekanan statis dari pitot-static tester yang telah dimodifikasi.

Altimeter dihubungkan ke jalur tekanan statis, kemudian diberikan tekanan vakum secara bertahap mulai dari 0 hingga mencapai -4.66 inHg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan ketinggian meningkat secara konsisten seiring penurunan tekanan.

Instrumen altimeter dihubungkan ke jalur statis dari pitot-static tester. Tekanan diturunkan secara bertahap dari 0 inHg hingga -5 inHg. Pengujian dilakukan pada tekanan 955 hPa dikarenakan di kollsman window tidak ada 923.69 hPa hanya

sampai 945 hPa. Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 3. berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Altimeter

No	Tekanan Statis (inHg)	Pembacaan Altimeter (ft)
1	0.0	0
2	-0.99	1100
3	-1.96	2280
4	-2.94	3100
5	-3.69	4340
6	-4.66	5200

Pada hasil pengujian altimeter, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan tabel ISA, di mana nilai 0 ketinggian diasumsikan berdasarkan tekanan lokal sebesar 27.28 inHg. Perbandingan ini bertujuan untuk melihat apakah pembacaan altimeter sesuai dengan ketinggian standar yang seharusnya ditunjukkan berdasarkan perubahan tekanan. Hasil perbandingan ditunjukkan pada Tabel 4. berikut:

Tabel 4. Hasil Perbandingan Altimeter dengan Tabel ISA

Tekanan Statis (inHg)	Ketinggian Referensi ISA (ft)	Pembacaan Altimeter (ft)	Selisi h (ft)
0.0	0	0	0
-0.99	1000	1100	+100
-1.96	2000	2280	+280
-2.94	3000	3100	+100
-3.69	4000	4340	+340
-4.66	5000	5200	+200

Sementara itu, pengujian VSI dilakukan dengan memberikan tekanan secara cepat untuk mensimulasikan kondisi pendakian, dan tekanan perlahan untuk kondisi penurunan. Saat tekanan diturunkan cepat, jarum VSI bergerak naik, dan saat tekanan dikembalikan perlahan, jarum turun sesuai arah penurunan.

Instrumen VSI menunjukkan laju perubahan ketinggian (ft/min) berdasarkan perubahan tekanan statis. Dalam pengujian ini, tekanan vakum diubah secara cepat menggunakan knob pada pitot-static tester untuk mensimulasikan perubahan ketinggian secara cepat. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5. berikut:

Tabel 5. Hasil Pengujian VSI

No	Tekanan Statis (inHg)	Pembacaan VSI (ft/min)
1	0.0	0
2	-1.0	+500
3	-2.0	+700
4	-3.0	+600
5	-4.0	+400
6	-5.0	0
7	-4.0	-150
8	-3.0	-150
9	-2.0	-100
10	-1.0	-100
11	0.0	0

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa altimeter dan VSI berfungsi dengan baik dan merespons tekanan sesuai prinsip kerjanya. Alat pitot-static

tester yang telah dimodifikasi juga menunjukkan performa stabil dan cocok digunakan sebagai media pembelajaran.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat pitot-static tester berhasil dimodifikasi dan diuji dengan baik. Penambahan sistem kontrol manual dan indikator tekanan memberikan kemudahan dalam mengatur serta memantau tekanan selama proses simulasi. Instalasi sistem juga berjalan sesuai dengan desain dan menghasilkan alat yang stabil, fungsional, serta memenuhi aspek portabilitas untuk digunakan di lingkungan laboratorium.

Pengujian terhadap instrumen altimeter menunjukkan bahwa pembacaan ketinggian meningkat secara konsisten saat tekanan vakum diturunkan, dengan deviasi maksimum  $\pm 340$  ft dibandingkan referensi tabel ISA yang telah disesuaikan dengan tekanan lokal. Instrumen VSI juga memberikan respons sesuai terhadap perubahan tekanan, menunjukkan arah pendakian maupun penurunan secara fungsional. Meskipun ASI tidak dapat diuji karena kerusakan, hasil pengujian altimeter dan VSI telah membuktikan bahwa sistem bekerja secara efektif dan akurat.

Secara keseluruhan, alat ini layak digunakan sebagai media pembelajaran pada praktikum sistem pitot-static, karena mampu memberikan simulasi tekanan yang stabil, respons instrumen yang sesuai, dan mendukung pemahaman mahasiswa terhadap prinsip kerja instrumen penerbangan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Elmajdub NFA, Bharadwaj AK. Important pitot static system in aircraft control system. *Am J Eng Res*. 2014;3(10):138–44.
2. Ezzeddine W, Schutz J, Rezg N. Experiences plan approach for static pressure reliability: Case study: Aircrafts pitot sensors. *Int J Aeronaut Sci Aerosp Res*. 2019;:1–8.
3. Foster JV, Cunningham K. A GPS-based pitot-static calibration method using global. 1990;:1–16.
4. Jurado JD, McGehee CC. Complete online algorithm for air data system calibration. *J Aircr*. 2019;56(2):517–28. doi:10.2514/1.C034964
5. Basic Air Data. Pitot-static probe calibrator [Internet]. 2020 [cited 2025 Jun 13]. Available from: <https://www.basicairdata.eu/knowledge-center/calibration/pitot-static-probe-calibrator>
6. Pilot John International. Understanding pitot-static testing and its importance in aircraft performance [Internet]. [cited 2025 Jun 13]. Available from: <https://pilotjohn.com>
7. Federal Aviation Administration. Aircraft instrument systems. U.S. DOT. 2017;Chap. 10.
8. Tanaka K. Effect of temperature on static pressure calibration. *J Aerosp Instrumen*. 2021.
9. Petersen R, Khan O. Module 13: Aircraft aerodynamics, structures, and system. Version 20. Aircraft Technical Book Co; 2021.
10. Apritos. Vertical speed indicator (VSI) pada flight instrument pesawat udara [Internet]. 2017 [cited 2024 Dec 20]. Available from: <https://www.apritos.com/2017/11/vertical-speed-indicator-vsi-pada.html>
11. Patel S, Gomez L. Laboratory simulation of air data instruments. *Educ Aerosp Technol*. 2023;15(1):72–80.
12. Abdelrahman AA, Suliman SE, Awad ABA, Tay Alla YEE, Mohammed AAA. Development of a computer-based aircraft pitot-static instruments test system. In: *Proc Int Conf Comput Control Netw Electron Embed Syst Eng (ICCNEEE)*. 2016;:149–54.
13. Williams J, Hargrave K. Design standards for portable pitot-static testers in educational labs. *Int J Aeronaut Technol*. 2021;10(2):101–12.
14. Marshall D. The significance of altimeter accuracy in IFR conditions. *J Flight Saf*. 2018;55(4):201–10.
15. Airdata Corporation. Pitot-static tester user manual – model AD450E-1. 2020.