

DASAR-DASAR TEKNIK PESAWAT UDARA

Semester 2

**Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi
2022**

SMK/MAK KELAS X

Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.
Dilindungi Undang-Undang.

Penafian: Buku ini disiapkan oleh pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan buku pendidikan yang bermutu, murah, dan merata sesuai dengan amanat dalam UU No. 3 Tahun 2017. Buku ini disusun dan ditelaah oleh berbagai pihak di bawah koordinasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Buku ini merupakan dokumen hidup yang senantiasa diperbaiki, diperbarui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan yang dialamatkan kepada penulis atau melalui alamat surel buku@kemdikbud.go.id diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X Semester 2

Penulis

Maruli Tua
Asep Gunawan
Tri Susilo

Penelaah

Ariasari Anggraeni
Bismil Rabeta

Penyelia/Penyelaras

Supriyatno
Wardani Sugiyanto
Mochamad Widiyanto
Wijanarko Adi Nugroho
Ria Triyanti

Kontributor

Nur Wahid Fahrudin Rianto
Dwi Fathonah
Aida Fitriyani
Utsman Syah Amrullah
Ida Mamluah
Ahmad Budiman
M.Agung Probowo

Ilustrator

Rio Ari Seno (Kover), Daniel Tirta Ramana (Isi)

Editor

Yudi Iswanto

Desainer

Achmad Syarif

Penerbit

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

Dikeluarkan oleh

Pusat Perbukuan & Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi
Jalan Jendral Sudirman Komplek Kemendikbudristek Senayan, Jakarta 10270
<https://buku.kemdikbud.go.id>

Cetakan pertama, 2022

ISBN: 978-602-244-983-6 (Jilid Lengkap)
978-602-244-984-3 (Jilid 2)
978-623-388-074-9 (PDF)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 10/15 pt
xvi, 248 hlm., 17,6 x 25 cm.

Kata Pengantar

Pusat Perbukuan; Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas dan fungsi mengembangkan buku pendidikan pada satuan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah, termasuk Pendidikan Khusus. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini memberikan keleluasaan bagi satuan/program pendidikan dalam mengimplementasikan kurikulum dengan prinsip diversifikasi sesuai dengan kondisi satuan pendidikan, potensi daerah, dan peserta didik.

Pemerintah dalam hal ini Pusat Perbukuan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan dengan mengembangkan Buku Siswa dan Buku Panduan Guru sebagai buku teks utama. Buku ini dapat menjadi salah satu referensi atau inspirasi sumber belajar yang dapat dimodifikasi, dijadikan contoh, atau rujukan dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran sesuai karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik.

Adapun acuan penyusunan buku teks utama adalah Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi No. 262/M/2022 tentang Perubahan atas Keputusan Mendikbudristek No. 56/M/2022 tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran, serta Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 033/H/KR/2022 tentang Perubahan Atas Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka.

Sebagai dokumen hidup, buku ini tentu dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan kebutuhan dan perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari para guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk pengembangan buku ini di masa yang akan datang. Pada kesempatan ini, Pusat Perbukuan menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, mulai dari penulis, penelaah, editor, ilustrator, desainer, dan kontributor terkait lainnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi peserta didik dan guru dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Desember 2022

Kepala Pusat,

Supriyatno

NIP 196804051988121001

Kata Pengantar

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Sehubungan dengan telah terbitnya Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 262M/2022 tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam Rangka Pemulihan Pembelajaran Direktorat SMK, Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi telah menyusun contoh perangkat ajar.

Perangkat ajar merupakan berbagai bahan ajar yang digunakan oleh pendidik dalam upaya mencapai Profil Pelajar Pancasila dan capaian pembelajaran. Perangkat ajar meliputi buku teks pelajaran, modul ajar, video pembelajaran, modul Projek Penguatan Profil Pelajar Pancasila dan Budaya Kerja, serta bentuk lainnya. Pendidik dapat menggunakan beragam perangkat ajar yang relevan dari berbagai sumber. Pemerintah menyediakan beragam perangkat ajar untuk membantu pendidik yang membutuhkan referensi atau inspirasi dalam pengajaran. Pendidik memiliki keleluasaan untuk membuat sendiri, memilih, dan memodifikasi perangkat ajar yang tersedia sesuai dengan konteks, karakteristik, serta kebutuhan peserta didik.

Buku ini merupakan salah satu perangkat ajar yang bisa digunakan sebagai referensi bagi guru SMK dalam mengimplementasikan Pembelajaran dengan Kurikulum Merdeka. Buku teks pelajaran ini digunakan masih terbatas pada SMK pelaksana Implementasi Kurikulum Merdeka.

Selanjutnya, Direktorat SMK mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penyusunan buku ini mulai dari penulis, penelaah, reviewer, editor, ilustrator, desainer, dan pihak terkait lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Semoga buku ini bermanfaat untuk meningkatkan mutu pembelajaran pada SMK pelaksana Implementasi Kurikulum Merdeka.

Jakarta, Desember 2022

Direktur SMK

Prakata

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, buku teks ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku teks ini disusun sebagai salah satu buku pegangan peserta didik Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) program keahlian Teknik Pesawat Udara. Struktur dan isi buku ini dapat memberikan gambaran tentang seluruh rangkaian pembelajaran Teknik Pesawat Udara. Buku teks yang dikembangkan mengacu pada elemen yang ada dalam Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) dan kurikulum standar *Aircraft Maintenance Training Organization* (AMTO) yang tertuang dalam capaian kompetensi. Capaian kompetensi tersebut mengandung judul kompetensi tertentu yang harus mengacu pada nilai-nilai Profil Pelajar Pancasila.

Buku Dasar-dasar Teknik Pesawat Udara Jilid II terdiri atas lima bab yang membahas tentang struktur pesawat udara, propulsi, *flight control*, sistem pesawat udara, dan *Civil Aviation Safety Regulation* (CASR).

Penulis menyadari buku teks ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kami berharap kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku teks ini. Semoga buku ini bisa digunakan sebagai salah satu sumber belajar bagi siswa SMK program keahlian Teknik Pesawat Udara.

Akhirnya, kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku teks ini kami ucapkan terima kasih.

Tim Penulis

Daftar Isi

| | |
|--|------------|
| Kata Pengantar Pusat Perbukuan | iii |
| Kata Pengantar Direktorat SMK | iv |
| Prakata | v |
| Daftar Gambar | viii |
| Petunjuk Penggunaan Buku | xvi |
| Bab 1 Struktur Pesawat Udara | 1 |
| A. Jenis Struktur Pesawat Udara | 2 |
| B. Bagian Utama Struktur Pesawat Udara | 10 |
| C. Tegangan dalam Struktur Pesawat Udara | 25 |
| D. Metode Perbaikan Struktur Pesawat Udara | 26 |
| Bab 2 Powerplant (Propulsi) | 35 |
| A. Jenis Mesin Pesawat Udara | 37 |
| B. Prinsip Kerja dan Jenis Mesin Piston | 40 |
| C. Komponen dan Sistem Mesin Piston | 48 |
| D. Operasional Mesin Piston | 66 |
| Bab 3 Aircraft Flight Control | 73 |
| A. Stabilitas dan Kendali | 74 |
| B. Prinsip Dasar <i>Flight Control</i> | 77 |
| C. Bidang-Bidang Kendali Terbang | 80 |
| Bab 4 Sistem dalam Pesawat Udara | 101 |
| A. <i>Equipment and Furnishing System</i> (ATA 25) | 103 |
| B. <i>Fire Protection System</i> (ATA 26) | 109 |
| C. Sistem Bahan Bakar (ATA 28) | 127 |
| D. <i>Hydraulic Power System</i> (ATA 29) | 138 |
| E. <i>Landing Gear System</i> | 151 |
| F. <i>Lights System</i> (ATA 33) | 162 |
| G. <i>Pneumatic/Vacuum System</i> (ATA 36) | 172 |

Bab 5 Civil Aviation Safety Regulation (CASR) _____ 185

| | |
|---|-----|
| A. CASR PART 1 (<i>Definitions and Abbreviations</i>) | 189 |
| B. CASR PART 21 (<i>Certification Procedures for Product and Parts</i>) | 190 |
| C. CASR PART 23 (<i>Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category</i>) | 195 |
| D. CASR PART 25 (<i>Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes</i>) | 196 |
| E. CASR PART 39 (<i>Airworthiness Directive</i>) | 196 |
| F. CASR PART 43 (<i>Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration</i>) | 198 |
| G. CASR PART 45 (<i>Identification & Registration Marking</i>) | 200 |
| H. CASR PART 47 (<i>Aircraft Registration</i>) | 200 |
| I. CASR PART 65 (<i>Licensing of Aircraft Maintenance Engineers</i>) | 206 |
| J. CASR PART 145 (<i>AMO (Approved Maintenance Organizations)</i>) | 210 |
| K. CASR PART 147 (<i>AMO (Approved Maintenance Organizations)</i>) | 215 |
| Daftar Pustaka | 223 |
| Sumber Buku | 223 |
| Sumber Internet | 223 |
| Sumber Gambar | 224 |
| Glosarium | 237 |
| Indeks | 238 |
| Profil Pelaku Perbukuan | 240 |

Daftar Gambar

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1 Konstruksi Jenis <i>Truss</i> | 3 |
| Gambar 1.2 Konstruksi <i>Full Monocoque</i> | 4 |
| Gambar 1.3 A Bagian-Bagian Konstruksi <i>Semi Monocoque</i> | 4 |
| Gambar 1.3 B Konstruksi <i>Semi Monocoque</i> | 5 |
| Gambar 1.4 A NU-85 Belalang | 6 |
| Gambar 1.4 B Sikumbang | 6 |
| Gambar 1.5 PZL-Okecie PZL-104 Gelatik, IN-039, Indonesian Air Force | 7 |
| Gambar 1.6 Konstruksi <i>Semi Monocoque</i> | 8 |
| Gambar 1.7 A Konstruksi <i>Reinforced Shell</i> | 9 |
| Gambar 1.7 B Konstruksi <i>Reinforced Shell</i> | 9 |
| Gambar 1.8 A Pesawat Udara Bersayap Tetap (<i>Fixed Wing Aircraft</i>) | 10 |
| Gambar 1.8 B Bagian-Bagian Utama Pesawat <i>Fix Wings</i> | 10 |
| Gambar 1.9 Pesawat Udara Sayap Berputar (<i>Rotary Wing Aircraft</i>) | 11 |
| Gambar 1.10 Komponen Rangka Pesawat Udara | 11 |
| Gambar 1.11 <i>Fuselage Station</i> | 12 |
| Gambar 1.12 <i>Buttock Line</i> | 13 |
| Gambar 1.13 <i>Water Line (WL)</i> | 14 |
| Gambar 1.14 A Peran Sayap Pesawat Udara | 14 |
| Gambar 1.14 B Sayap sebagai Penghasil Gaya Angkat (<i>Lift</i>) | 15 |
| Gambar 1.15 A Rancangan Sayap dengan Penyangga Luar (<i>External Bracing</i>) | 15 |
| Gambar 1.15 B Rancangan Sayap Tanpa Penyangga Luar (<i>No External Bracing</i>) | 16 |
| Gambar 1.16 Pesawat Modern | 16 |
| Gambar 1.17 Komponen Struktur Sayap (<i>Wing</i>) | 17 |
| Gambar 1.18 A, B, C, D, E, F, G Macam-macam Model Sayap | 20 |
| Gambar 1.19 A, B, C, D, E, F Macam-macam Cara Pemasangan Sayap terhadap <i>Fuselage</i> | 22 |
| Gambar 1.20 Spar Jenis Kayu | 22 |

| | |
|--|----|
| Gambar 1.21 <i>Spar</i> Jenis Metal | 23 |
| Gambar 1.22 Bagian-bagian <i>Spar</i> Pesawat Udara | 23 |
| Gambar 1.23 A, B Konstruksi <i>Spar</i> dalam Sayap | 24 |
| Gambar 1.24 A, B, C <i>Airfoil Ribs</i> | 24 |
| Gambar 1.25 Konstruksi <i>Ribs</i> dan <i>Spar</i> | 25 |
| Gambar 1.26 A, B, C, D, E, F Macam-macam Tegangan (<i>Stress</i>) | 26 |
| Gambar 1.27 A, B Pemeliharaan sayap pesawat udara | 31 |
| Gambar 2.1 Jenis <i>Light Aircraft</i> dengan <i>Piston Engine</i> sebagai Pendorongnya | 37 |
| Gambar 2.2 Jenis Pesawat yang Menggunakan <i>Gas Turbine Engine</i> sebagai Pendorongnya | 38 |
| Gambar 2.3 Perbedaan Prinsip Kerja <i>Piston Engine</i> dan <i>Gas Turbine Engine</i> | 39 |
| Gambar 2.4 <i>Piston Engine Tipe Opposed</i> Pesawat Jabiru SMKN 29 Jakarta | 41 |
| Gambar 2.5 Piston Tipe Satu Garis | 42 |
| Gambar 2.6 Piston Tipe V | 43 |
| Gambar 2.7 Konfigurasi Piston V | 43 |
| Gambar 2.8 Tipe Piston Radial | 43 |
| Gambar 2.9 Konfigurasi Piston V | 43 |
| Gambar 2.10 A <i>Opposed Type engine</i> | 43 |
| Gambar 2.10 B <i>Schematic Of A Opposed-Piston Engine</i> | 44 |
| Gambar 2.11 Komponen Utama <i>Turbojet Engine</i> | 45 |
| Gambar 2.12 Komponen <i>Turboprop</i> | 46 |
| Gambar 2.13 Bagian dari <i>Turboshaft Engine</i> | 47 |
| Gambar 2.14 A Operasi <i>Turbofan</i> | 47 |
| Gambar 2.14 B Jenis <i>Turbofan Engine</i> | 48 |
| Gambar 2.15 Komponen <i>Piston Engine with 2 Cam</i> | 48 |
| Gambar 2.16 Komponen <i>Piston Engine with 1 Cam</i> | 49 |
| Gambar 2.17 Komponen Piston untuk <i>Crankcase</i> | 49 |
| Gambar 2.18 A Komponen <i>Crankshaft</i> | 50 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.18 B <i>Piston Crankshaft</i> | 50 |
| Gambar 2.19 A <i>Camshaft</i> | 51 |
| Gambar 2.19 B <i>Camshaft</i> Jenis SOHC dan DOHC | 51 |
| Gambar 2.20 Komponen Silinder | 52 |
| Gambar 2.21 Jenis-jenis Piston | 53 |
| Gambar 2.22 Bagian dari <i>ring piston</i> | 54 |
| Gambar 2.23 Bagian-Bagian Kecil <i>Connecting Rod</i> | 54 |
| Gambar 2.24 <i>Split Type Master Rod Assembly</i> | 55 |
| Gambar 2.25 macam-macam tipe katup/ <i>valve</i> | 55 |
| Gambar 2.26 Mekanisme Cara Kerja <i>Valve</i> dengan <i>Lobe</i> -nya | 56 |
| Gambar 2.27 Prinsip Kerja Piston 4 Langkah | 56 |
| Gambar 2.28 Posisi Isap | 57 |
| Gambar 2.29 Posisi Kompresi | 57 |
| Gambar 2.30 Posisi Pembakaran (<i>Ignition position</i>) | 58 |
| Gambar 2.31 <i>Power Position</i> | 59 |
| Gambar 2.32 <i>Exhaust Position</i> | 59 |
| Gambar 2.33 <i>Divergent Inlet Duct</i> | 60 |
| Gambar 2.34 Bagian <i>Compressor Centrifugal</i> | 61 |
| Gambar 2.35 Bagian Utama <i>Compressor Axial Element Rotor</i> dan <i>Stator</i> | 62 |
| Gambar 2.36 Konsep Proses Pembakaran Segitiga Api | 63 |
| Gambar 2.37 <i>Can Combustion Chamber</i> | 64 |
| Gambar 2.38 <i>Combustion Chamber</i> Jenis Annular | 64 |
| Gambar 2.39 <i>Cannular Combustion Chamber</i> | 65 |
| Gambar 2.40 Bentuk <i>Airfoil</i> Turbin | 65 |
| Gambar 2.41 Aliran Udara di Komponen Turbin | 65 |
| Gambar 2.42 <i>Numbering of Cylinder</i> | 67 |
| Gambar 3.1 Tiga Jenis Stabilitas Statis | 76 |
| Gambar 3.2 Tiga Jenis Stabilitas Dinamik | 77 |
| Gambar 3.3 Tiga Jenis Stabilitas Statik dan Dinamik | 77 |
| Gambar 3.4 <i>Aircraft Three Axis</i> | 78 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.5 <i>Aircraft Movements</i> | 78 |
| Gambar 3.6 Tiga Sumbu Pesawat dan Kestabilannya | 79 |
| Gambar 3.7 Gerakan Pesawat dengan <i>Primary Flight Control</i> | 80 |
| Gambar 3.8 A <i>Aileron</i> dan Gerakan <i>Rolling</i> | 81 |
| Gambar 3.8 B <i>Aileron</i> dan Gerakan <i>Rolling</i> | 81 |
| Gambar 3.9 A <i>Elevator</i> dan Gerakan <i>Pitching</i> | 82 |
| Gambar 3.9 B <i>Elevator</i> dan Gerakan <i>Pitching</i> | 82 |
| Gambar 3.10 A <i>Rudder</i> dan Gerakan <i>Yawing</i> | 82 |
| Gambar 3.10 B Defleksi <i>Rudder</i> dan Gerakan <i>Yawing</i> | 82 |
| Gambar 3.11 Gerakan <i>Adverse Yaw</i> | 83 |
| Gambar 3.12 Gerakan <i>Dutch Roll</i> | 83 |
| Gambar 3.13 Gerakan <i>Differential Aileron</i> | 84 |
| Gambar 3.14 A Ilustrasi Letak <i>Secondary Flight Control</i> Pesawat Boeing B727 | 85 |
| Gambar 3.14 B <i>Secondary flight Control</i> Pesawat Boeing B737 | 85 |
| Gambar 3.15 A Jenis-jenis <i>Slot</i> | 86 |
| Gambar 3.15 B Jenis-jenis <i>Leading Edge</i> | 86 |
| Gambar 3.16 Jenis-jenis <i>Trailing Edge Flap</i> dan <i>Slotted</i> | 86 |
| Gambar 3.17 A Letak Bidang Kemudi <i>Trimtabs</i> | 87 |
| Gambar 3.17 B Bidang Kemudi <i>Trimtabs</i> | 87 |
| Gambar 3.18 Bidang Kemudi <i>Spoiler</i> | 88 |
| Gambar 3.19 Bidang Kemudi <i>Flaperon</i> | 88 |
| Gambar 3.20 Bidang Kemudi <i>Elevons</i> | 89 |
| Gambar 3.21 A Bidang Kemudi <i>Ruddervators</i> | 89 |
| Gambar 3.21 B Kontrol <i>Rudder</i> di Bidang Kemudi <i>Ruddervators</i> | 90 |
| Gambar 3.21 C Kontrol <i>Elevator</i> di Bidang Kemudi <i>Ruddervators</i> | 90 |
| Gambar 3.22 A <i>Spoiler Speedbrakes</i> | 91 |
| Gambar 3.22 B <i>Tailspeedbrakes</i> | 91 |
| Gambar 3.23 A <i>Trimmable Horizontal Stabilizer</i> | 91 |
| Gambar 3.23 B <i>Trimmable Horizontal Stabilizer</i> | 91 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 3.24 Sistem Kendali <i>Autopilot</i> | 92 |
| Gambar 3.25 Sistem Kendali <i>Autopilot</i> | 92 |
| Gambar 3.26 Bidang Kendali <i>Canards</i> | 93 |
| Gambar 3.27 Bidang Kendali <i>Canards</i> | 93 |
| Gambar 3.28 Kendali Terbang Pesawat Airbus A320 | 94 |
| Gambar 3.29 Kendali Terbang Pesawat Airbus A330 dan A340 | 94 |
| Gambar 3.30 Kendali Terbang Pesawat Boeing B727 dan B737 | 95 |
| Gambar 3.31 Kendali Terbang Pesawat Airbus A380 | 96 |
| Gambar 3.32 Kendali Terbang Pesawat Hawker | 96 |
| Gambar 4.1 Pesawat Udara dan Sistem Pendukungnya | 103 |
| Gambar 4.2 <i>Lay Out</i> Kabin Penumpang | 103 |
| Gambar 4.3 Bagasi Penumpang dan Jajaran Kursi di Kabin | 104 |
| Gambar 4.4 Struktur Kursi Penumpang | 104 |
| Gambar 4.5 <i>Track/Jalur</i> Kursi | 104 |
| Gambar 4.6 Pengikat Diagonal Tunggal & Kursi Kru | 105 |
| Gambar 4.7 Kompartemen Kargo | 106 |
| Gambar 4.8 Pengaman Kargo | 106 |
| Gambar 4.9 <i>Harness</i> di Kursi Pilot | 106 |
| Gambar 4.10 Lokasi Penempatan <i>Escape Strap</i> di Kokpit | 107 |
| Gambar 4.11 Mengoperasikan Tangga Peluncur | 108 |
| Gambar 4.12 <i>Thermal Switch Fire Circuit</i> (Sirkuit Sakelar Termal) | 111 |
| Gambar 4.13 Prinsip Kerja Sirkuit Terkomopel | 111 |
| Gambar 4.14 Sirkuit Peringatan Kebakaran <i>Thermocouple</i> | 112 |
| Gambar 4.15 <i>Pneumatic Dual Fire/Overheat Detector Assembly</i> | 113 |
| Gambar 4.16 Modul Sistem Kontrol Deteksi Pesawat | 114 |
| Gambar 4.17 Sistem Detektor <i>Pneumatic Pressure Loop</i> | 115 |
| Gambar 4.18 <i>Infrared (IR) Based Optical Flame Detector</i> | 116 |
| Gambar 4.19 Alat Pemadam Api Portabel | 119 |
| Gambar 4.20 Kontainer Non Portabel (Botol HRD) di Pesawat Angkut | 120 |
| Gambar 4.21 Diagram Kontainer Pemadam Kebakaran | 120 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.22 Katup Pembuangan (Kiri) dan <i>Cartridge</i> atau <i>Squib</i> (Kanan) | 121 |
| Gambar 4.23 <i>Discharge Indicators</i> | 122 |
| Gambar 4.24 Engine Fire Switch Operation | 123 |
| Gambar 4.25 Sakelar Detektor Kebakaran <i>Engine</i> dan APU di Panel Atas Kokpit | 123 |
| Gambar 4.26 Instalasi Detektor Asap | 124 |
| Gambar 4.27 Sistem Pemadaman Api di Kompartemen Kargo dan Bagasi | 125 |
| Gambar 4.28 Component of Fire Extinguisher Contactor | 126 |
| Gambar 4.29 Lokasi Penempatan Tangki Bahan Bakar | 127 |
| Gambar 4.30 Skema Sistem Bahan Bakar | 128 |
| Gambar 4.31 Sistem Pengisian Bahan Bakar | 129 |
| Gambar 4.32 Pelabelan dan Kode Warna Peralatan Pengisian Bahan Bakar | 131 |
| Gambar 4.33 Sistem Bahan Bakar Bertekanan di Helikopter Bermesin Turbin Ringan | 133 |
| Gambar 4.34 Tangki Bahan Bakar di Sayap Pesawat Kecil | 134 |
| Gambar 4.35 Tangki Bahan Bakar Jenis <i>Rigid Removable</i> | 135 |
| Gambar 4.36 Tangki <i>Bladder</i> untuk Pesawat Ringan | 135 |
| Gambar 4.37 Integral Fuel Tanks | 136 |
| Gambar 4.38 <i>Dump Nozzle</i> Airbus A340-311 | 137 |
| Gambar 4.39 A. Cairan Hidrolik Berbahan Dasar Mineral (<i>Mineral Based Hydraulic</i>) B. Cairan Hidrolik Berbahan Dasar Sintetik (Skydrol) | 141 |
| Gambar 4.40 Contoh Cairan Hidrolik <i>Type Skydrol</i> | 141 |
| Gambar 4.41 Sistem Hidrolik Dasar dengan Pompa Tangan | 143 |
| Gambar 4.42 <i>Reservoir In-Line</i> | 144 |
| Gambar 4.43 Pompa Tangan Dua Aksi (<i>Double Action Hand Pump</i>) | 146 |
| Gambar 4.44 Sistem Hidrolik Dasar dengan Pompa Daya | 146 |
| Gambar 4.45 Rangkaian Sistem Hidrolik dengan Pompa Daya di Pesawat Besar | 147 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.46 <i>Relief Valve</i> | 147 |
| Gambar 4.47 <i>Pressure Gauge</i> /Pengukur Tekanan | 148 |
| Gambar 4.48 Akumulator Tipe Diafragma | 149 |
| Gambar 4.49 Katup Satu Arah/ <i>Check Valve</i> | 149 |
| Gambar 4.50 Aktuator <i>Single-Action</i> dan <i>Double-Action</i> | 150 |
| Gambar 4.51 Katup Selektor (<i>Selector Valve</i>) | 151 |
| Gambar 4.52 <i>Tricycle Landing Gear</i> | 152 |
| Gambar 4.53 <i>Conventional Landing Gear</i> | 152 |
| Gambar 4.54 Indikator <i>Landing Gear</i> | 154 |
| Gambar 4.55 <i>Red Handle "T"</i> | 154 |
| Gambar 4.56 <i>Main Landing Gear</i> | 155 |
| Gambar 4.57 <i>Trunnion Link</i> | 156 |
| Gambar 4.58 <i>Torsion Link/Torque Link</i> | 156 |
| Gambar 4.59 <i>Nose Wheel Steering System with Hydraulic and Mechanical Units</i> | 157 |
| Gambar 4.60 Sistem Rem (<i>Brake system</i>) | 160 |
| Gambar 4.61 <i>Aircraft Tire Nomenclature</i> | 162 |
| Gambar 4.62 Posisi Lampu Eksterior | 164 |
| Gambar 4.63 Lampu pendaratan (<i>Landing lights</i>) | 164 |
| Gambar 4.64 Lampu Taksi (<i>Taxi Lights</i>) | 165 |
| Gambar 4.65 Lampu Posisi Kiri (Merah) | 165 |
| Gambar 4.66 Lampu Posisi Kanan (Hijau) | 165 |
| Gambar 4.67 Skema Sistem Lampu Navigasi | 166 |
| Gambar 4.68 Lampu Anti Tabrakan (<i>Anticollision Lights</i>) | 167 |
| Gambar 4.69 Penerangan di <i>Flight Compartment</i> dan Lampu Pembacaan Map | 168 |
| Gambar 4.70 Penerangan dalam Kabin | 169 |
| Gambar 4.71 Letak <i>Boarding Lights</i> dan Tombol Pengendalinya | 169 |
| Gambar 4.72 <i>Passenger Ordinance Lights</i> | 170 |
| Gambar 4.73 Lampu Darurat (<i>Emergency Lights</i>) | 171 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.74 Sumber <i>Pneumatic System</i> dan Penggunaannya | 172 |
| Gambar 4.75 <i>System Pneumatic</i> di Pesawat Udara | 173 |
| Gambar 4.76 Skema Dasar Kompresor Udara | 174 |
| Gambar 4.77 <i>Schematic Vane Type</i> | 175 |
| Gambar 4.78 Katup Pembuang Tekanan | 175 |
| Gambar 4.79 <i>Control Valve</i> | 176 |
| Gambar 4.80 <i>Control Valve</i> | 177 |
| Gambar 4.81 <i>Restrictor Orifice</i> | 178 |
| Gambar 4.82 <i>Variable Pneumatic Restrictor</i> | 178 |
| Gambar 4.83 <i>Micronic Filter</i> | 179 |
| Gambar 5.1 Hierarki Undang-Undang Indonesia | 188 |
| Gambar 5.2 Hubungan Antar-Part CASR | 189 |
| Gambar 5.3 Contoh <i>Type Certificate</i> | 191 |
| Gambar 5.4 Contoh <i>Production Certificate</i> | 193 |
| Gambar 5.5 Contoh <i>Certificate of Airworthiness</i> | 194 |
| Gambar 5.6 Contoh <i>Airworthiness Directives</i> yang dikeluarkan oleh Direction Generale De L'aviation Civile | 197 |
| Gambar 5.7 Contoh Penulisan <i>Identification Mark</i> | 200 |
| Gambar 5.8 Form Permohonan Sertifikat Pesawat Udara yang Dikeluarkan oleh DGCA No.47-11 | 202 |
| Gambar 5.9 Contoh Sertifikat Pendaftaran Pesawat yang Dikeluarkan oleh DGCA No.47-02 | 203 |
| Gambar 5.10 Form Permohonan Penghapusan Pendaftaran Pesawat Udara yang dikeluarkan oleh DGCA No.47-17 | 205 |



Petunjuk Penggunaan Buku

Bacalah buku ini dengan saksama sebelum, selama, dan setelah selesai proses pembelajaran, serta perhatikan petunjuk-petunjuk di bawah ini.

A

Buku ini meliputi penguasaan keterampilan dan pengetahuan dasar kompetensi yang perlu kalian kuasai.

B

Jika kalian mengalami kesulitan dalam mempelajari buku ini, silakan bertanya atau berdiskusi dengan teman, guru, atau pembimbing.

C

Guru/pembimbing akan menerangkan hal penting yang diperlukan saat kalian melakukan pekerjaan.

D

Lakukan latihan dan pekerjaan lebih banyak serta bertanya kepada guru/pembimbing jika ada kesulitan.

E

Pindai *QR-code* untuk menjelajahi internet dengan aplikasi yang sesuai.

F

Ikuti semua instruksi pada lembar informasi dalam beraktivitas dan isilah lembar kerja yang telah disediakan kemudian kerjakan latihan pada setiap kegiatan pembelajaran.

G

Silakan kalian menilai diri sendiri sebagai bentuk refleksi pekerjaan kalian. Apabila kalian sudah merasa kompeten pada capaian kompetensi tertentu, silakan lanjut ke materi berikutnya. Namun, apabila merasa belum kompeten, silakan mengulang kembali pada capaian kompetensi sebelumnya.

H

Apabila kalian sudah menyelesaikan pembelajaran materi pada buku ini dan merasa yakin telah memahami dan mengerjakan cukup latihan, laporkan kepada guru/pembimbing untuk dinilai.

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X Semester 2

Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan, Tri Susilo

ISBN: 978-602-244-983-6 (Jilid Lengkap)

978-602-244-984-3 (Jilid 2)

978-623-388-074-9 (PDF)

Bab 1

Struktur Pesawat Udara



Coba amati struktur pesawat udara yang pernah kalian lihat, apakah sudah dirancang dengan aman?



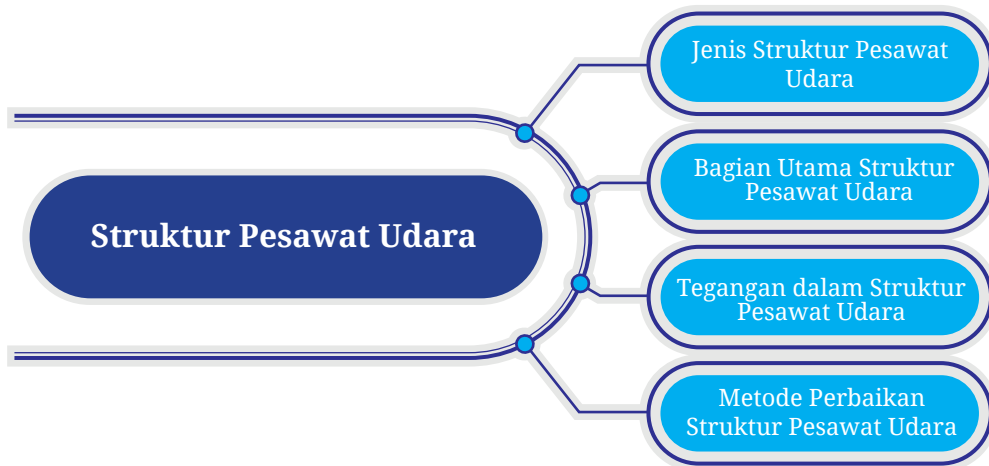
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami undang-undang yang dijadikan dasar hukum dalam rancang bangun sebuah struktur pesawat udara.
2. Mengidentifikasi jenis-jenis *aircraft fuselage*.
3. Mengidentifikasi dan menjabarkan bagian/komponen utama struktur pesawat udara.
4. Mengidentifikasi jenis-jenis tegangan yang terjadi dalam struktur pesawat udara.
5. Memahami jenis material pesawat udara.
6. Memahami jenis perbaikan struktur pesawat udara.



Peta Konsep



Kata Kunci

Struktur rangka pesawat, fuselage, monocoque, semi monocoque, reinforced shell, stress, tension, compression, torsion, bending, wings, bracing, rectangular, spar, rib, stringer, skin, mono-spar, multi-spar, box beam, tapered, swept back.

Tahukah kalian bahwa pembuatan pesawat udara memiliki ketentuan yang sudah diatur oleh negara? Apa saja ketentuan-ketentuannya? Sebagai orang yang mempelajari teknologi penerbangan, kalian harus benar-benar memahaminya. Ketentuan tersebut Terdapat dalam Undang-Undang Republik Indonesia nomor 1 Tahun 2009 Bab VI pasal 13 s.d. 18 tentang rancang bangun dan produksi pesawat udara.

Rancang bangun pesawat udara diatur sesuai ketentuan perundang-undangan agar pesawat yang dibuat sesuai standar kelaikudaraan, yaitu terpenuhinya persyaratan desain tipe pesawat udara dan kondisi aman untuk beroperasi. Artinya, setiap pesawat yang dibuat harus memenuhi standar keselamatan dan keamanan.

A. Jenis Struktur Pesawat Udara

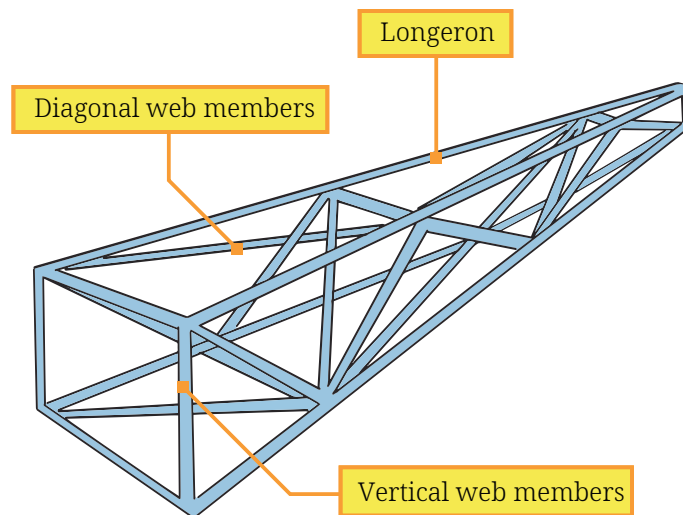
Pesawat yang kalian lihat terbang di udara itu beraneka ragam bentuknya. Apa yang membuat pesawat yang satu berbeda dengan pesawat yang lainnya?

Mari kita mulai dengan jenis struktur/rangka pesawat. Bab ini menyediakan sedikit pengenalan mengenai jenis struktur/rangka pesawat udara.

Ciri dan sifat utama model sebuah pesawat udara sudah dirancang sejak awal desainnya. Desain pesawat akan mengikuti tujuan/keperluan untuk apa pesawat tersebut dibuat. Akan tetapi, secara umum struktur pesawat satu dengan yang lainnya sama, yaitu terdiri atas badan pesawat (*fuselage*), sayap (*wings*), bagian ekor pesawat (*empennage*), roda pendarat (*landing gear*), dan motor penggerak.

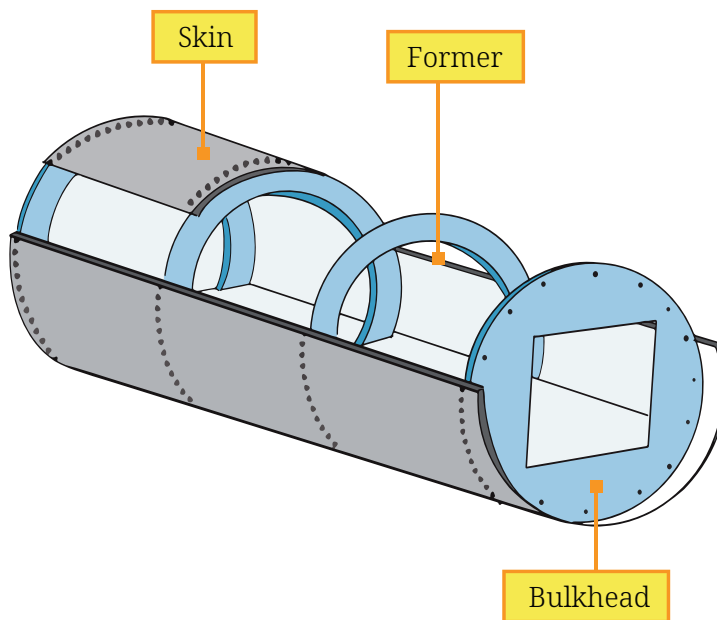
Rancangan struktur rangka pesawat menggunakan teknologi yang mengharuskan rangka pesawat dalam kondisi ringan, kuat, dan kokoh. Struktur pesawat harus kuat untuk kepentingan keamanan dan keselamatan penumpang. Rangkanya juga harus kaku karena rangka yang lentur justru merusak karakteristik kendali terbang, sebab bila terlalu banyak getaran pada sayap akibatnya sayap bisa patah. Adapun struktur rangka harus ringan karena merupakan persyaratan dasar selain kokoh dan kuat. Selain itu, berat pesawat juga terkait dengan jumlah konsumsi bahan bakar.

Fuselage adalah badan atau *body* yang merupakan struktur utama sebuah pesawat udara. Dalam *fuselage* tersedia ruangan untuk barang (*cargo*), ruang pengendali (*control*) yang disebut *cockpit*, ruang perlengkapan (*accessories*), ruang penumpang (*passengers*) yang disebut *cabin*, dan ruang perlengkapan lainnya.



Gambar 1.1 Konstruksi Jenis *Truss*

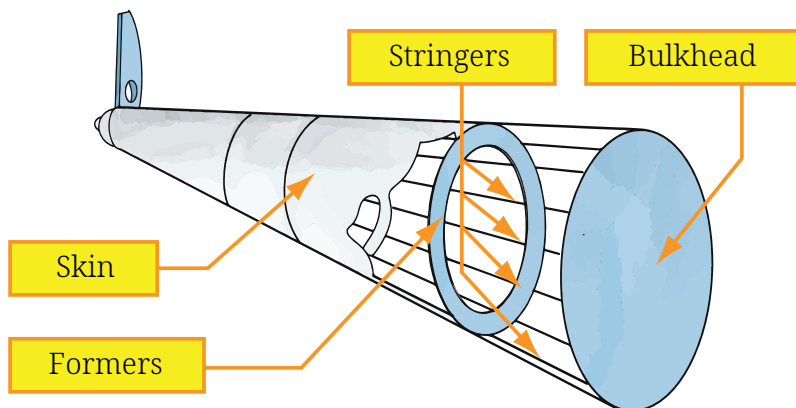
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



Gambar 1.2 Konstruksi *Full Monocoque*

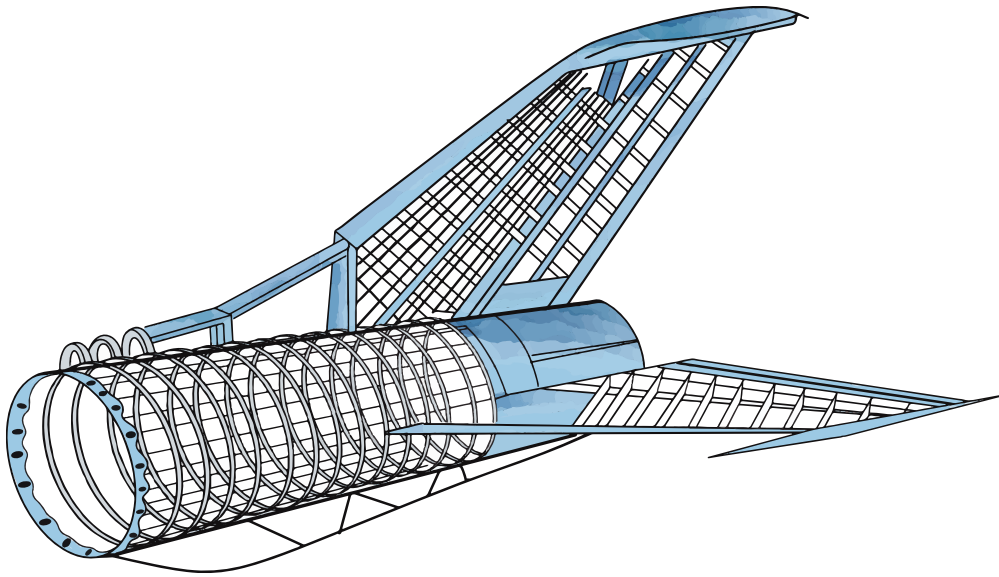
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/ FAA (2012)

Konstruksi rangka badan pesawat (*fuselage*) terdiri atas dua macam, yaitu jenis *truss* dan jenis *monocoque*. *Truss* berasal dari bahasa Inggris artinya tiang penopang. *Monocoque* berasal dari bahasa Prancis artinya kulit tunggal keras. Adapun kelompok *monocoque* dibagi menjadi 3 macam, yaitu *Full Monocoque*, *Semi Monocoque*, dan *Reinforced Shell*.



Gambar 1.3 A Bagian-Bagian Konstruksi *Semi Monocoque*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



Gambar 1.3 B Konstruksi *Semi Monocoque*
Sumber: military.wikireading.ru (2022)

1. *Fuselage Truss*

Struktur rangka *Fuselage Truss* pada umumnya dibuat dari pipa baja yang dibentuk dengan cara pengelasan. Rangka *truss* dibuat dari bahan aluminium paduan (*aluminum alloy*) yang dirangkai satu sama lain dengan cara di-*rivet* atau dibaut dengan tujuan agar bobot konstruksinya lebih ringan. Rangka menggunakan penguat silang dengan menggunakan batang atau pipa padat untuk menambah kekuatan konstruksi. *Skin* atau kulit penutup konstruksi *truss type* tersebut secara umum menggunakan kain (*fabric*) yang dilekatkan di pipa-pipa dengan diikat benang kemudian dilapisi *dop*, yaitu bahan kimia yang berfungsi sebagai bahan penegang kain, pengawet, dan pendedap air. Pesawat udara yang menggunakan konstruksi *truss* adalah pesawat-pesawat kecil seperti pesawat latih, pesawat swayasa, pesawat eksperimental yang tidak diperuntukkan membawa penumpang dalam jumlah banyak.

Konstruksi *truss* memiliki kelebihan, yaitu konstruksinya mudah dibuat. Pesawat terbang yang menggunakan konstruksi kerangka pipa adalah PIPER L-4J, Belalang, dan Sikumbang yang merupakan pesawat terbang buatan bangsa Indonesia pada era LAPIP, yaitu sebelum era LIPNUR dan PT NURTANIO.



Gambar 1.4 A NU-85 Belalang

Sumber: <http://aviadejavu.ru> (2022)



Gambar 1.4 B Sikumbang

Sumber: planespotters.net/Arjun Sarup (2018)

2. *Fuselage Full Monocoque*

Konstruksi *Full Monocoque* terdiri dari tiga bagian, yaitu *bulkhead*, *formers*, dan *skin*. *Bulkhead* dan *formers* digunakan sebagai pembentuk *fuselage*. Adapun *skin* berfungsi sebagai penahan tegangan utama. Dalam konstruksi *full monocoque* tidak dibuat penguat yang lain, sehingga *skin* harus kokoh dan kuat.

Konstruksi *full monocoque* dikenal juga dengan nama konstruksi *single shell* karena bentuknya seperti konstruksi kulit telur. Konstruksi jenis ini merupakan konstruksi yang merancang agar beban atau gaya-gaya yang timbul akan diterima lalu disebarkan ke seluruh kulit pesawat sehingga kulit menjadi *fully stressed*, artinya kulit menerima beban atau gaya secara penuh. Kulit memiliki peranan penting yaitu menjaga kekakuan *fuselage*, sedangkan *bulkhead* hanya menahan kekuatan pada titik-titik tertentu. Kulit pesawat ini ditempelkan atau dipasang di rangka pesawat udara dengan cara di-*rivet* atau dilem (*radux*) ke rangka-rangka aluminium paduan tersebut. Dalam konstruksi *monocoque* biasanya kulit pesawat udara dibuat bergelombang (*corrugated*), tujuannya untuk menambah kekokohan dan kekuatan kulit agar mampu menerima beban atau gaya yang timbul.

Konstruksi *monocoque* biasanya digunakan pesawat udara berukuran kecil (*light aircraft*). Hal ini berdasarkan pertimbangan semakin besar ukuran badan pesawat udara, makin besar pula beban/gaya yang harus diterima oleh seluruh konstruksi pesawat udara tersebut. Pesawat terbang yang menggunakan konstruksi *full monocoque* misalnya pesawat GELATIK PZL-104.



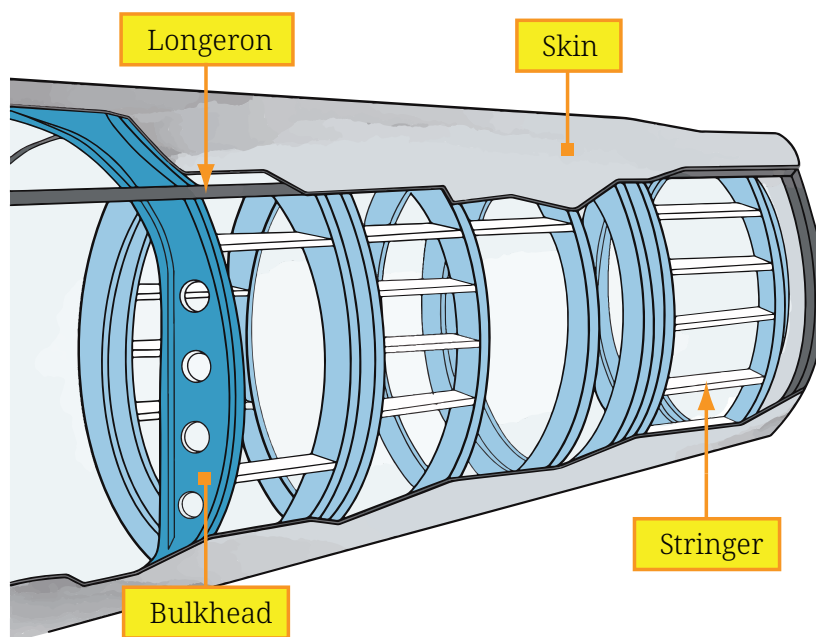
Gambar 1.5 PZL-Okecie PZL-104 Gelatik, IN-039, Indonesian Air Force
Sumber: [abpic.co.uk/George Trussell](http://abpic.co.uk/George%20Trussell) (2006)

Konstruksi *full monocoque* menggunakan *bulkhead* yang berfungsi sebagai pembentuk dan penguat agar badan pesawat dapat menerima beban/gaya yang besar. Rangka utama dari badan pesawat udara dihubungkan dengan bagian-bagian utama lainnya, yaitu sayap (*wings*) dan roda pendaratan

(*landing gear*), sedangkan *ring* dan *former* berfungsi memberi bentuk badan pesawat. Oleh karena itu, bentuk *ring* atau *former* harus aerodinamis agar dapat mengurangi gaya hambat (*drag*). Bentuk yang aerodinamis dengan mengikuti pola *airfoil* memungkinkan udara yang melewati struktur badan pesawat udara akan bersifat lurus dan mendatar (*stream line*). Langkah selanjutnya yaitu memasang skin ke *former* dengan cara di-*rivet*.

3. *Fuselage Semi Monocoque*

Konstruksi *Semi monocoque* terdiri dari *bulkheads*, *formers*, *longeron*, *stringers*, dan *skin*. *Stringer* berfungsi menambah kekakuan kulit serta membantu menahan beban. Konstruksi *semi monocoque* sampai saat ini sebagian besar dibuat dari aluminium paduan, magnesium paduan, serta sebagian kecil dibuat dari *steel* dan *titanium* untuk daerah temperatur tinggi. Konstruksi semi monocoque adalah konstruksi yang paling sering digunakan karena relatif paling ringan dan kuat.



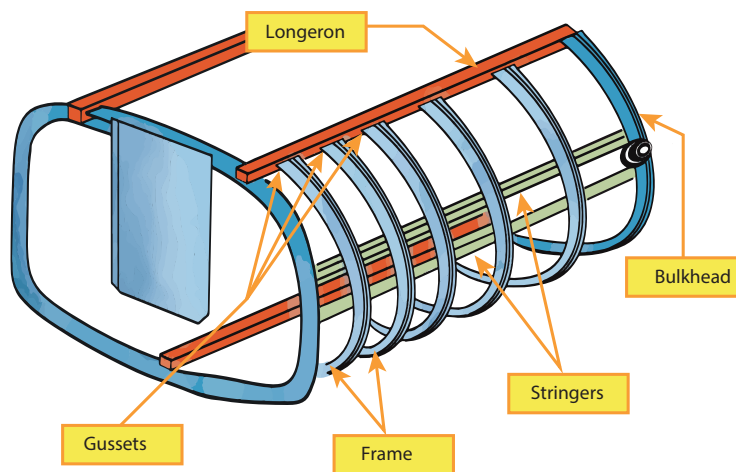
Gambar 1.6 Konstruksi *Semi Monocoque*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

4. Fuselage Reinforced Shell

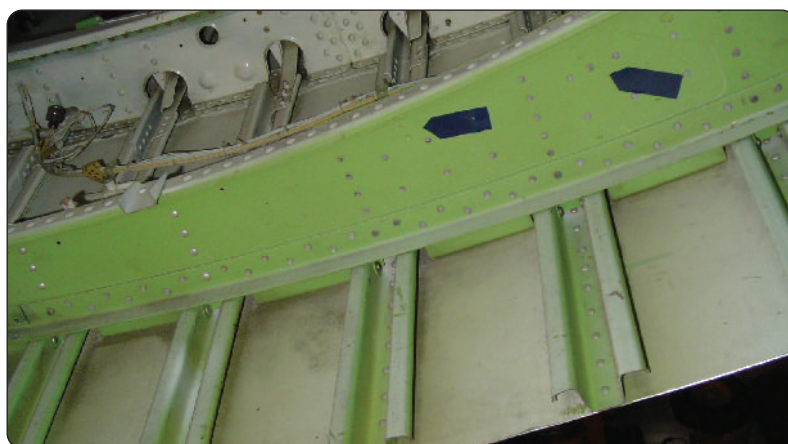
Konstruksi *reinforced shell* pada dasarnya sama dengan konstruksi semi *monocoque*, yaitu terdiri dari *bulkheads*, *former*, *longeron*, *stringers*, dan *skin*. Konstruksi jenis ini memiliki kelebihan berupa adanya penguatan terhadap skin sebab adanya komponen-komponen struktural yang lebih lengkap.

Longeron dan *stringer* merupakan komponen longitudinal karena dipasang memanjang searah sumbu longitudinal, perbedaannya adalah *longeron* berukuran lebih besar dan berbobot lebih berat dari pada *stringer*. *Bulkheads*, *frames*, dan *formers* disebut komponen *vertical* dalam struktur *fuselage*.



Gambar 1.7 A Konstruksi *Reinforced Shell*

Sumber: Airframe and Powerplant Mechanics Airframe Handbook/FAA (1972)



Gambar 1.7 B Konstruksi *Reinforced Shell*

Sumber: wikipedia.org/Kolossos (2006)

B. Bagian Utama Struktur Pesawat Udara

Ada dua jenis pesawat udara ditinjau dari cara menghasilkan gaya angkatnya, yaitu *Fixed Wing Aircraft* (pesawat udara bersayap tetap) dan *Rotary Wing Aircraft* (pesawat udara bersayap putar).

1. *Fixed Wing Aircraft*

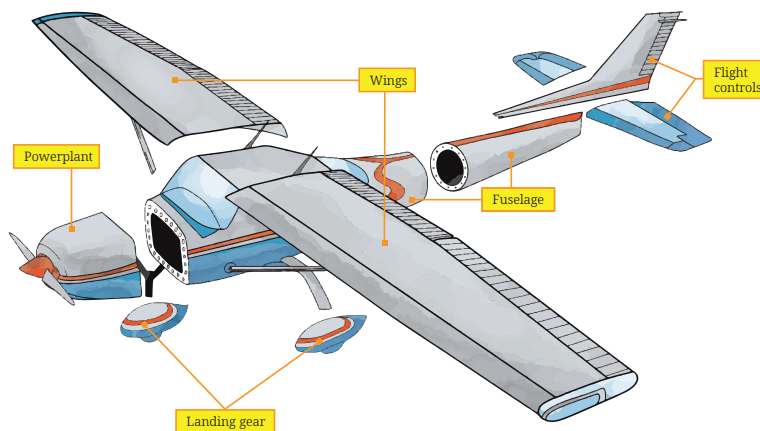
Struktur utama rangka *Fixed Wings Aircraft*:

- Badan pesawat (*Fuselage*)
- Sayap pesawat (*Wings*)
- Bidang kendali terbang (*Flight Control Surface*) dan *Stabilizer*
- Roda pendarat (*Landing Gear*)
- Motor pendorong (*Powerplant*)



Gambar 1.8 A Pesawat Udara Bersayap Tetap (*Fixed Wing Aircraft*)

Sumber: [indonesian-aerospace.com/PT Dirgantara Indonesia](http://indonesian-aerospace.com/PT_Dirgantara_Indonesia) (2020)



Gambar 1.8 B Bagian-Bagian Utama Pesawat *Fix Wings*

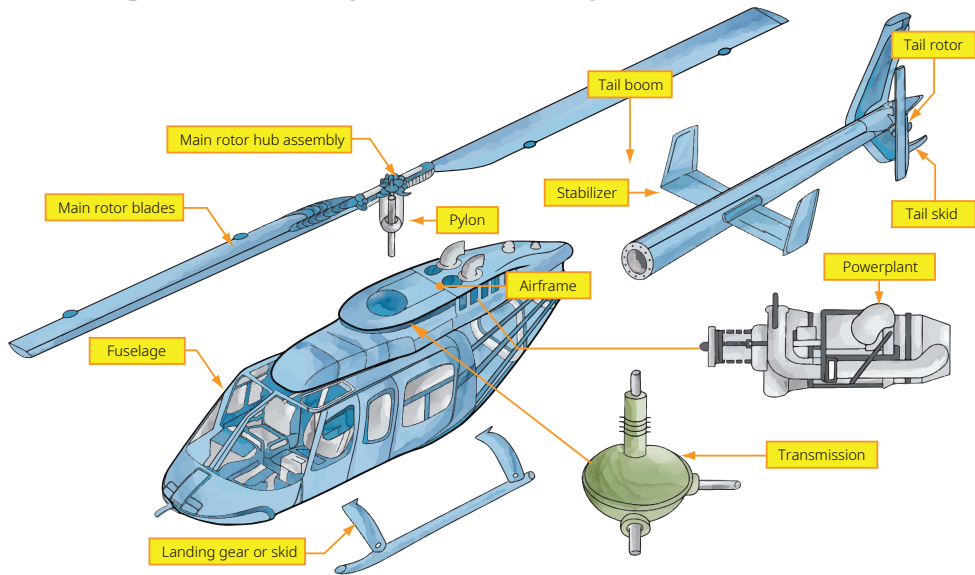
Sumber: *Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)*

2. *Rotary Wing Aircraft*

Struktur utama rangka *Rotary Wing Aircraft*:

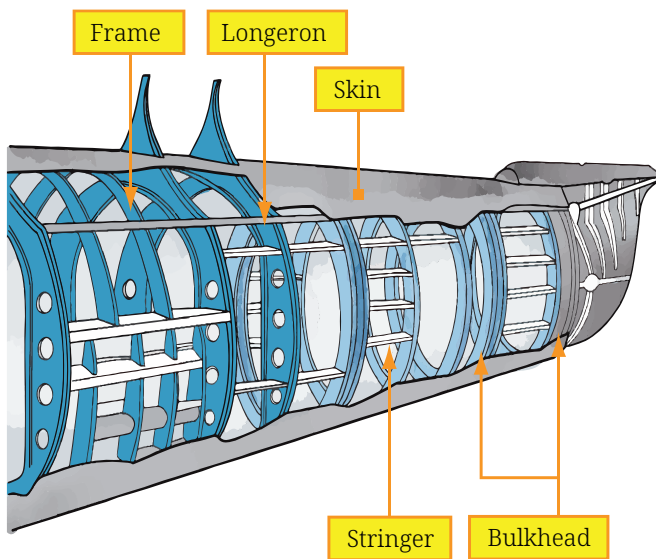
- Badan (*Fuselage*)
- Rotor Utama dan *Gearbox (Main Rotor and Related Gearbox)*

- c. Rotor Ekor (*Tail Rotor*)
- d. Roda pendarat (*Landing Gear* atau *Landing Skid*)



Gambar 1.9 Pesawat Udara Sayap Berputar (*Rotary Wing Aircraft*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



Gambar 1.10 Komponen Rangka Pesawat Udara

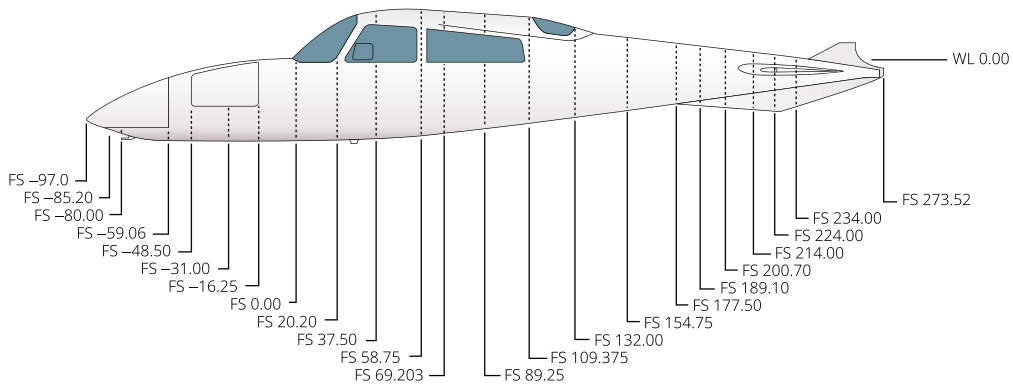
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

Selain struktur utama tersebut, rangka pesawat juga tersusun dari beberapa bagian komponen yang lebih kecil (*parts*) yang disebut *structural members*, antara lain *bulkheads*, *ribs*, *longeron*, dan *stringers*.

Material komponen rangka pesawat yang satu dengan yang lainnya bisa jadi dibuat dari material yang berbeda jenisnya, lalu disatukan dengan berbagai cara, misalnya ada yang menggunakan *rivets*, *bolts*, *screws*, *welding* dan *adhesives*.

3. Location Numbering System

Location numbering systems adalah sistem penomoran lokasi yang diukur dari patokan atau referensi tertentu bagian struktur pesawat udara. Manfaat mempelajari *location numbering system* adalah mempermudah mekanik mencari posisi dan letak suatu komponen pesawat udara untuk kepentingan perawatan dan perbaikan.



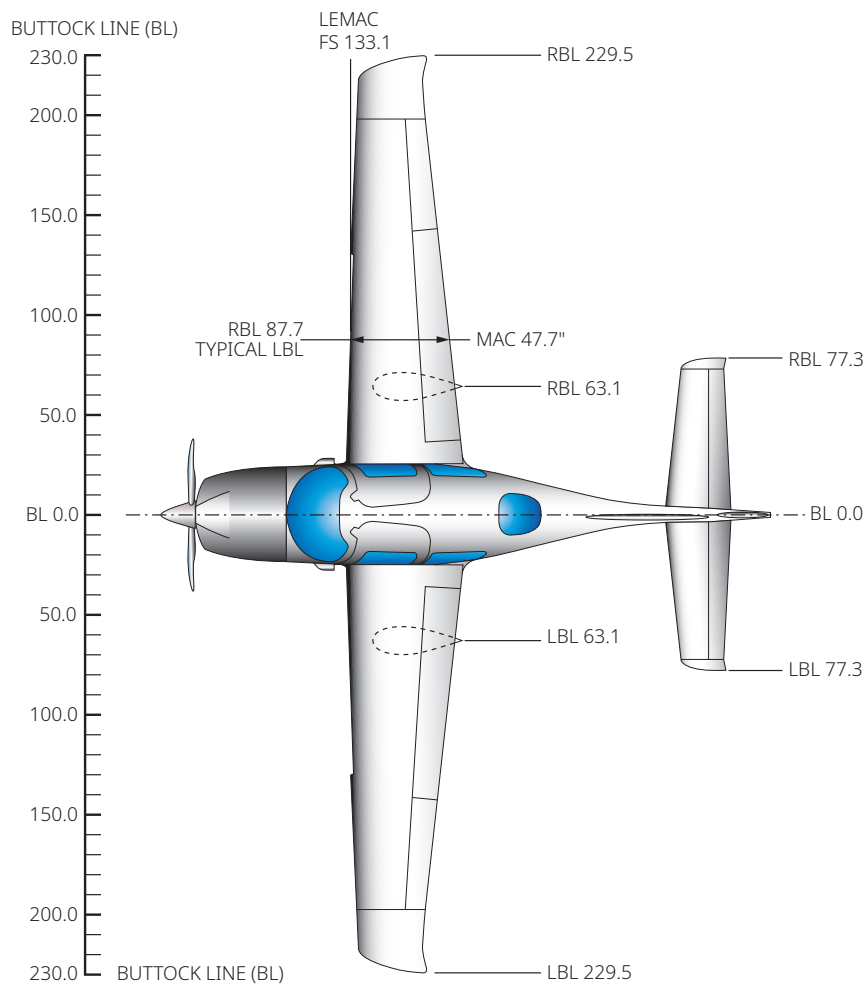
Gambar 1.11 Fuselage Station

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

Sistem penomoran lokasi (*location numbering system*) terdiri dari beberapa metode yaitu :

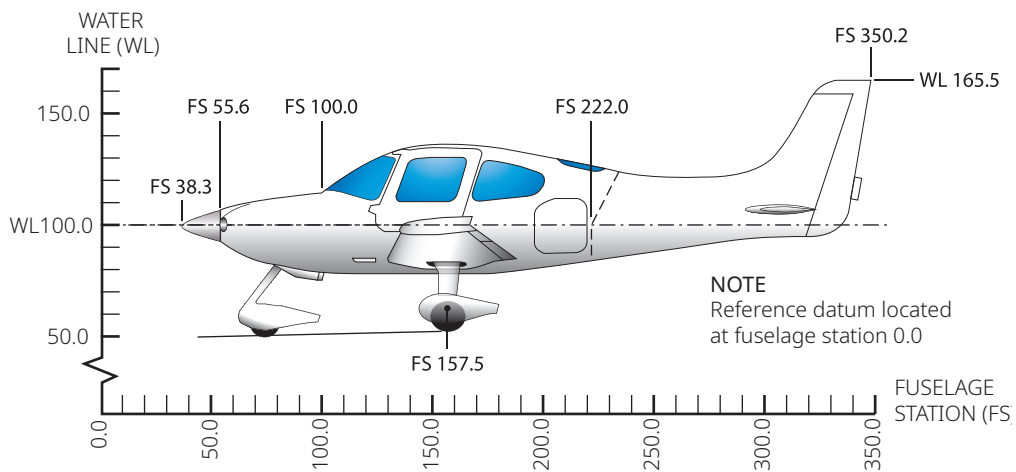
- Fuselage Station* (FS), yaitu pengukuran dari suatu referensi atau *zero point* yang disebut datum, sepanjang sumbu longitudinal dari *nose* sampai *tail* dalam satuan inchi. Datum sebagai titik nol untuk *fuselage station* adalah bidang *vertical imager* pada hidung pesawat udara. *Fuselage station* disebut juga *Body Station* (BS).
- Pengukuran ke arah lebar, yaitu ke kiri atau ke kanan dengan acuan garis tengah *vertical* (*vertical center line*) dari badan pesawat udara yang disebut *Buttock line* atau *Butt line* (BL).
- Pengukuran ke arah tinggi secara tegak lurus dengan acuan bidang horizontal di bawah pesawat udara yang disebut *Water Line* (WL).

- d. Pengukuran ke arah luar (*outboard*) dari dan paralel terhadap sisi dalam (*inboard*) aileron, serta tegak lurus terhadap *rear beam/spar* dari sayap yang disebut *Aileron Station (AS)*.
- e. Pengukuran secara tegak lurus terhadap *rear beam* sayap dan paralel terhadap *outboard flap*, diukur dari sisi *inboard flap* yang disebut *Flap Station (FS)*.
- f. Pengukuran ke arah depan atau samping dari spar depan sayap (*front spar*), tegak lurus terhadap *water line* yang disebut *Nashelle Station (NS)*.



Gambar 1.12 Buttock Line

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General/FAA (2018)

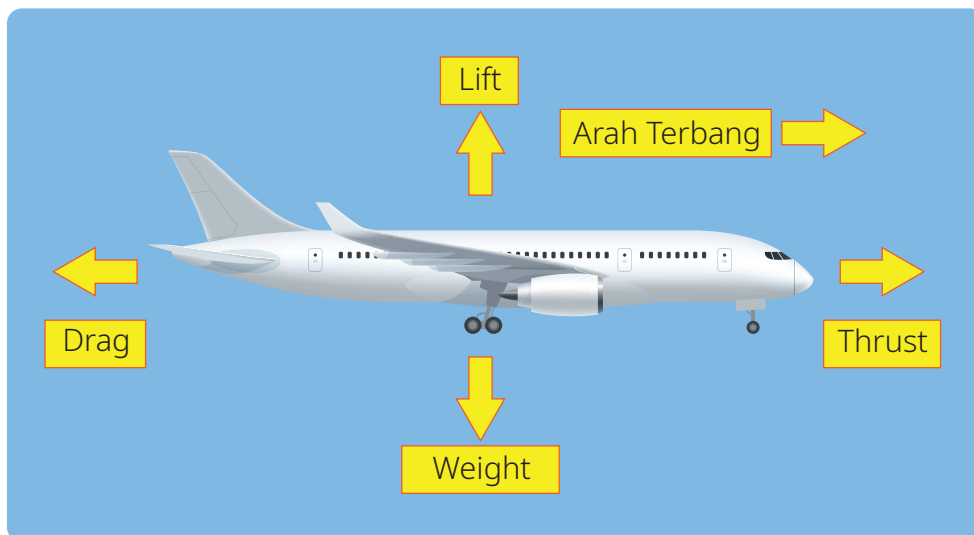


Gambar 1.13 Water Line (WL)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-General/FAA (2018)

4. Sayap Pesawat Udara (Wings)

Sayap (*Wings*) merupakan komponen utama sebuah pesawat udara, yang membentang dari kanan ke kiri searah dengan sumbu lateral. Apabila diibaratkan seekor burung, *wings* merupakan kepak sayap yang bekerja bergerak mengayuh udara agar bisa maju. Burung bisa bergerak maju karena ada gerakan kepak sayap, tetapi di pesawat udara *wings* memberikan gaya angkat (*lift*) akibat adanya efek kecepatan udara yang diberikan *engine* sehingga pesawat bergerak maju dan mengudara.



Gambar 1.14 A Peran Sayap Pesawat Udara

Sumber: freepik.com/macrovector (2019)



Gambar 1.14 B Sayap sebagai Penghasil Gaya Angkat (*Lift*)

Sumber: [wikimedia.org/Steven Lek](https://www.wikimedia.org/Steven Lek) (2007)

Rancangan *wings* sebagai penghasil gaya angkat (*Lift*) saat pesawat mengudara ada yang menggunakan penyangga luar (*external bracing*) dan ada yang tanpa penyangga. Penyangga bisa dibuat dari kawat (*wires*), kabel (*cables*), atau batang (*struts*). Pada era sekarang ini sayap pesawat modern dibuat tanpa penyangga.



Gambar 1.15 A Rancangan Sayap dengan Penyangga Luar (*External Bracing*)

Sumber: www.airliners.net/Phil Vabre (2010)



Gambar 1.15 B Rancangan Sayap Tanpa Penyangga Luar (*No External Bracing*)
Sumber: [wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/)/Alan Wilson (2017)



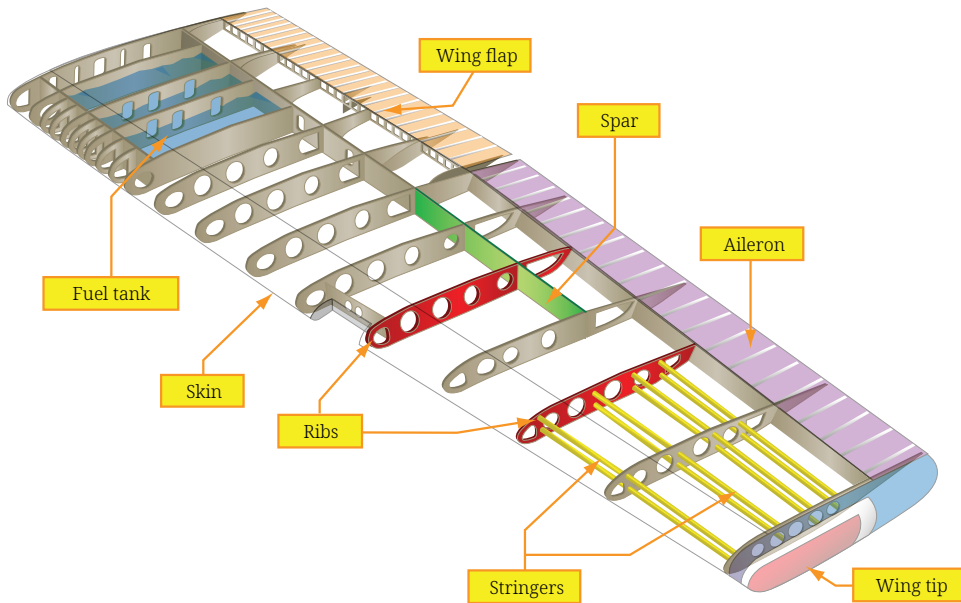
Gambar 1.16 Pesawat Modern
Sumber: [flickr.com](https://www.flickr.com/)/Glenn Schreurs (2015)

a. Struktur Sayap

Struktur utama sayap terdiri dari *Spar*, *Rib/bulkhead*, *Stringer*, dan *Skin*. Di permukaan bawah konstruksi sayap dibuat access door dan lubang pembuangan untuk fluida (*drain holes*), tujuannya untuk memudahkan pemeriksaan dan perawatan. Selain itu di permukaan bagian bawah sayap dibuat titik tempat mendongkrak yang disebut *jacking point*. Lokasi

Wing station zero terletak pada garis tengah *fuselage*, dan pengukuran seluruh *wing station* mulai dari *wing station 0* ke arah luar (*outboard*) dalam satuan inci.

Rancangan konstruksi sayap dibagi dalam tiga kategori, yaitu *Mono-spar*, *Multi-spar*, dan *Box-Beam*. Sayap dengan rancangan *mono-spar* memiliki satu komponen longitudinal utama (*spar*) dan *rib* atau *bulkhead* yang membentuk dan memberi kontur sayap. Rancangan sayap *multi-spar* memiliki lebih dari satu komponen longitudinal utama (*spar*), dan dipasang *rib* atau *bulkhead* untuk memberikan bentuk dan kontur sayap. Rancangan konstruksi sayap jenis *Box-Beam* menggunakan dua komponen longitudinal utama (*spar*), serta *rib* atau *bulkhead* sebagai pemberi bentuk sayap.

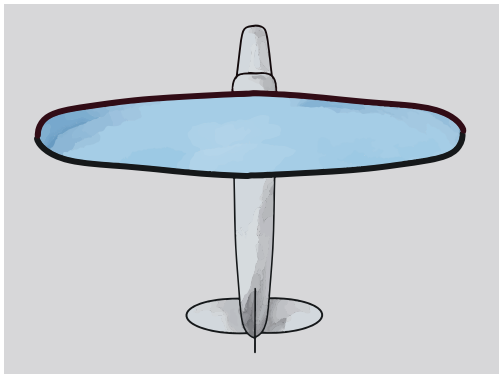


Gambar 1.17 Komponen Struktur Sayap (*Wing*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

b. Model Sayap

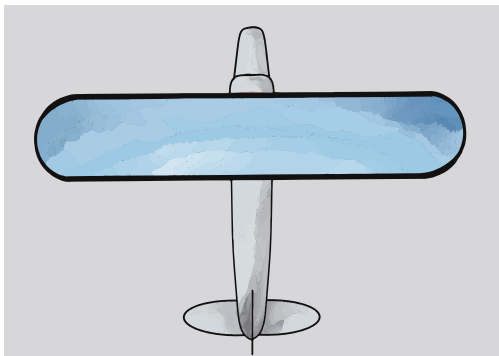
Untuk memenuhi karakteristik kebutuhan terbang, sayap pesawat dibuat dalam berbagai ukuran dan macam-macam bentuk. Perhatikan beberapa model sayap pada gambar-gambar berikut!



A Tapered Leading and Trailing Edge



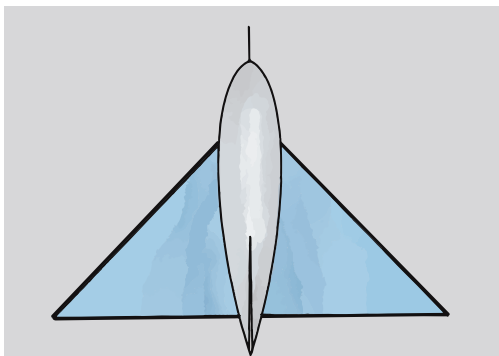
Sumber: flickr.com/Alex Layzell (2017)



B Straight Leading and Trailing Edge



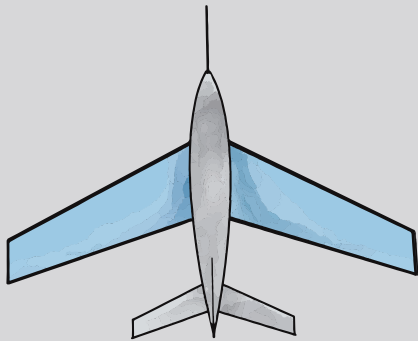
Sumber: wikipedia.org/Ahunt (2005)



C Delta Wings



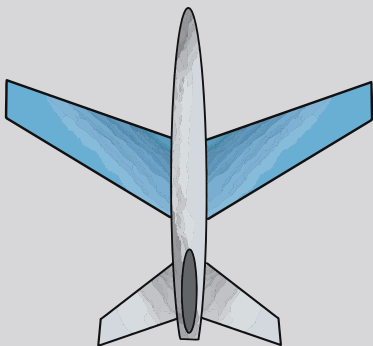
Sumber: flickr.com/Rob Schleiffert (2016)



D Swept Back Wings



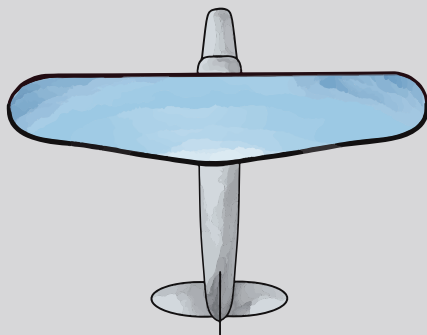
Sumber: flickr.com/Bill Abbott (2016)



E Swept Forward Wings



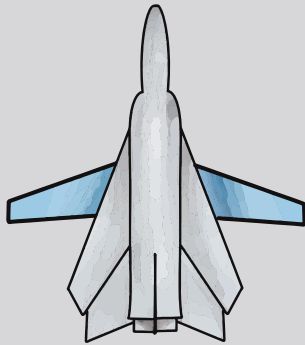
Sumber: www.dfr.nasa.gov/Larry Sammons (1990)



F Straight Leading and Tapered Trailing Edge



Sumber: hartzellprop.com/GettyImages (2022)



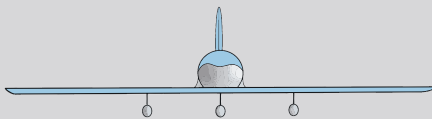
G Geometric Wings



Sumber: commons.wikimedia.org/ Ltjg. Stephen P. Davis (1993)

Gambar 1.18 A, B, C, D, E, F, G Macam-macam Model Sayap

Berikut adalah gambar-gambar model sayap berdasarkan cara pemasangan sayap pesawat terhadap *fuselage*-nya.



A Low Wing



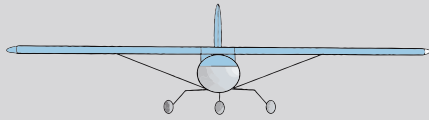
Sumber: hendersonkyairport.com (2022)



B Dihedral

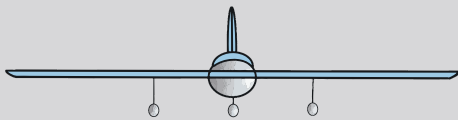


Sumber: wikipedia.org/AdrianPingstone (2019)



C High Wing

Sumber: wikipedia.org/Arpingstone (2005)



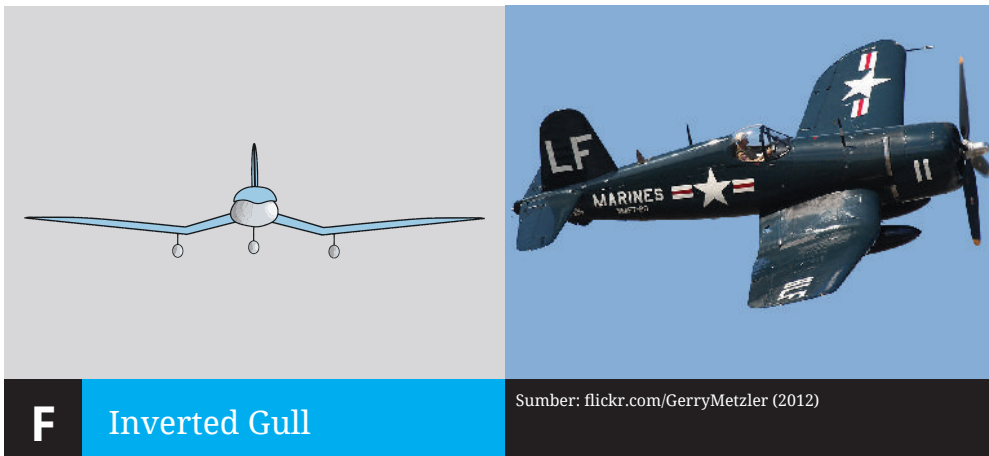
D Mid Wing

Sumber: wikipedia.org/Eddie Maloney (2008)



E Gull Wing

Sumber: wikipedia.org/Christoph Zahn (2005)



F Inverted Gull

Sumber: flickr.com/GerryMetzler (2012)

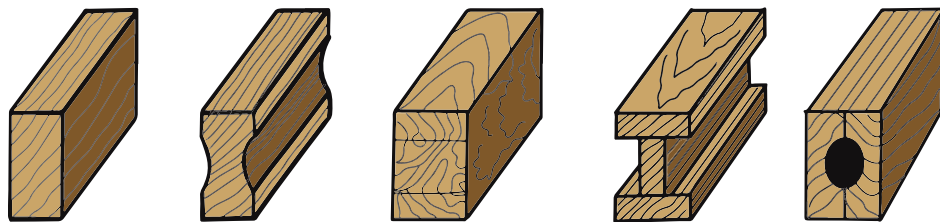
Gambar 1.19 A, B, C, D, E, F Macam-macam Cara Pemasangan Sayap terhadap Fuselage

c. Wing Spar

Wing spar merupakan bagian struktur utama sayap yang memanjang paralel terhadap sumbu lateral, serta merupakan tempat pemasangan *rib*.

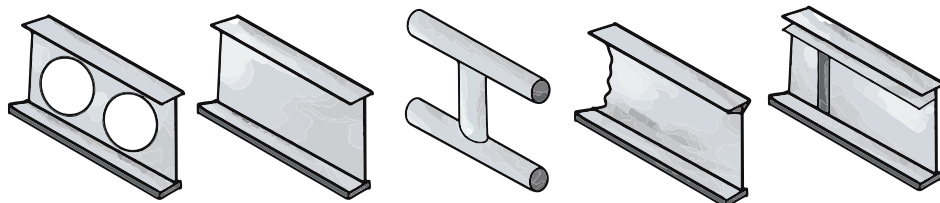
Spar dibuat dari bahan logam atau kayu tergantung jenis rancangan pesawat yang akan dibuat. Biasanya spar dibuat dari bahan *solid extruded aluminum* atau *short aluminum extrusion*.

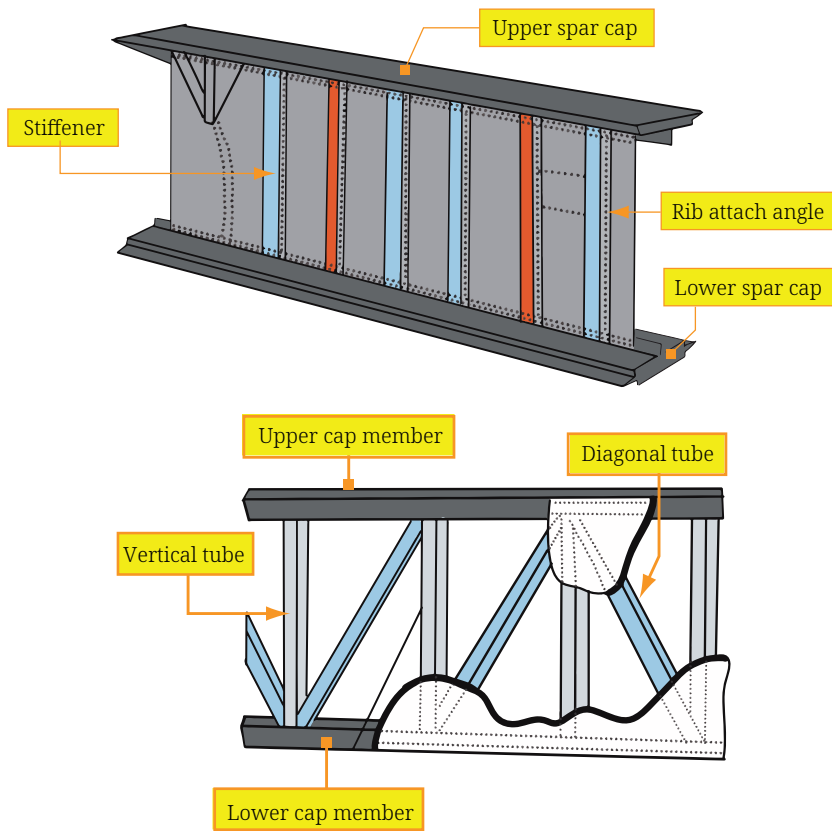
Jenis dan bentuk *Spar* yang dibuat dari bahan kayu secara umum digolongkan dalam lima macam, yaitu *Partly Hollow*, *Box*, *Solid* atau *Laminated*, *Rectangular*, dan *I-beam*.



Gambar 1.20 Spar Jenis Kayu

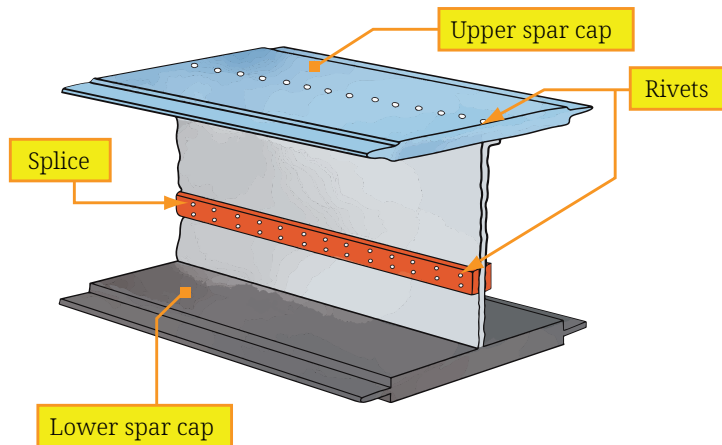
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)





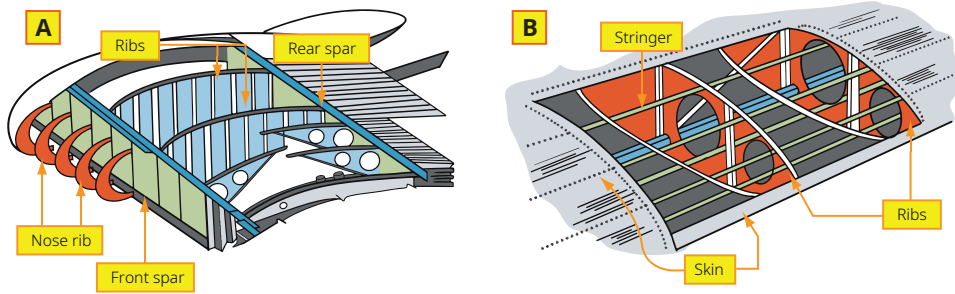
Gambar 1.21 Spar Jenis Metal

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



Gambar 1.22 Bagian-bagian Spar Pesawat Udara

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



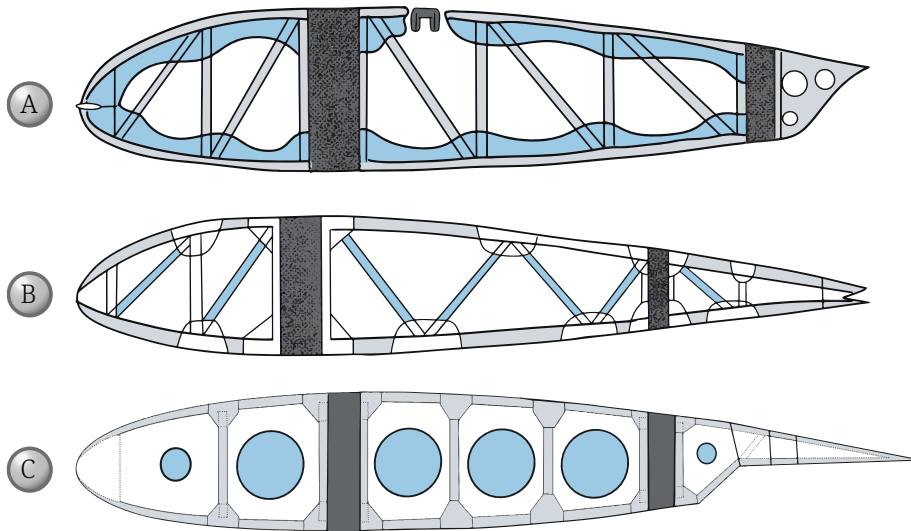
Gambar 1.23 A, B Konstruksi Spar dalam Sayap

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

d. Wing Rib

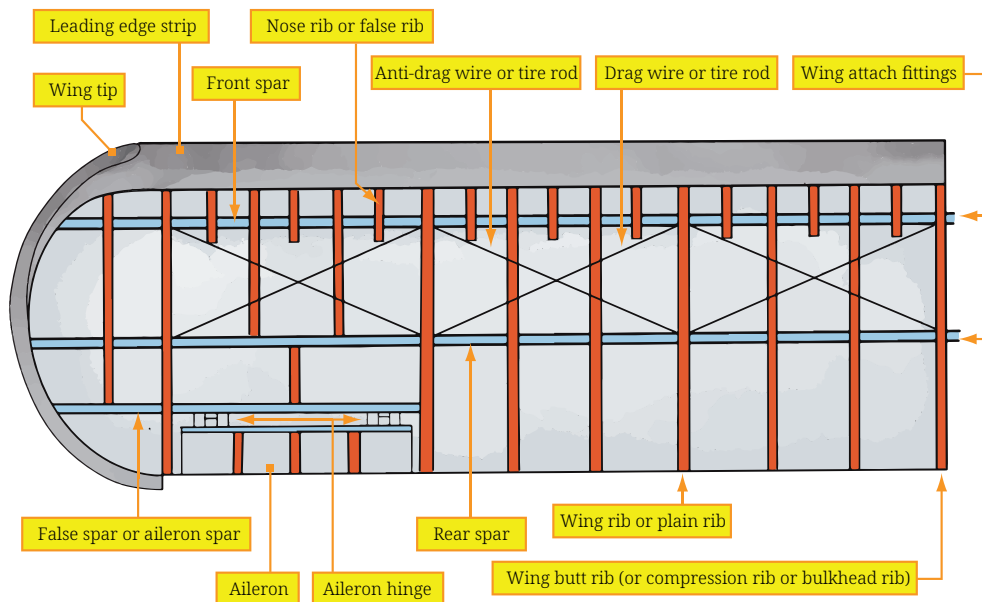
Wing Rib adalah struktur sayap berbentuk *airfoil* yang memberi bentuk lengkung (*cambered*) pada sayap. *Rib* dipasang pada *spar* depan dan *spar* belakang. *Spar* menerima beban dari *skin* dan *stringer*, kemudian beban tersebut disalurkan ke *spar*. Selain di sayap, *rib* juga dipasang di *aileron*, *elevator*, *rudder*, dan *stabilizer*.

Secara umum jenis *rib* dari bahan kayu dibuat dari *plywood web*, *lightened plywood web*, *truss type*.



Gambar 1.24 A, B, C Airfoil Ribs

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



Gambar 1.25 Konstruksi *Ribs* dan *Spar*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

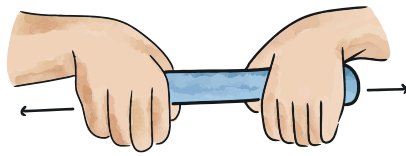
C. Tegangan dalam Struktur Pesawat Udara

Setiap inci rangka pesawat udara dirancang untuk dapat menahan beban yang diterima. Dalam hal ini beban dapat diartikan sebagai tekanan atau regangan. Penting bagi teknisi untuk memahami tekanan yang mungkin terjadi di komponen struktur terkait perlakuan dan perbaikan terhadap komponen/bagian struktur tersebut.

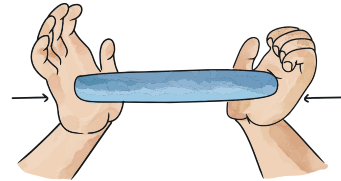
Ada lima tegangan utama yang terjadi dalam struktur pesawat udara, yaitu:

- 1) Tegangan Tarik (*Tension Stress*)
- 2) Tegangan Tekan (*Compression Stress*)
- 3) Tegangan Puntir (*Torsion Stress*)
- 4) Tegangan Geser/Gunting (*Shear Stress*)
- 5) Tegangan Bengkok (*Bending Stress*)

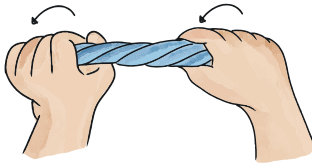
Cermati ilustrasi macam-macam tegangan di bawah ini!



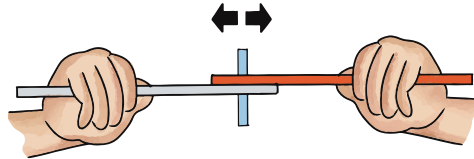
A. Tegangan Tarik



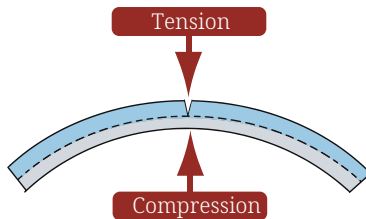
B. Tegangan Tekan



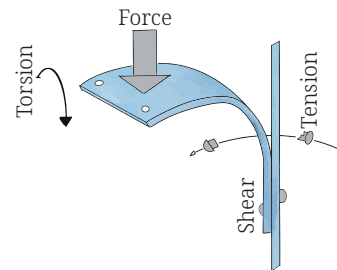
C. Tegangan Puntir



D. Tegangan Geser



E. Tegangan Bengkok



F. Ilustrasi Gabungan Tegangan

Gambar 1.26 A, B, C, D, E, F Macam-macam Tegangan (*Stress*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)

Suatu gaya yang berasal dari dalam (*internal force*) di sebuah substansi yang bersifat melawan atau menahan deformasi (perubahan bentuk) disebut *stress*. Deformasi suatu material atau substansi disebut *strain*. Dengan demikian *stress* adalah gaya dari dalam yang dapat menyebabkan *strain*.

D. Metode Perbaikan Struktur Pesawat Udara

Perbaikan bagian-bagian struktur pesawat udara menggunakan beberapa metode, dan tidak ada pola perbaikan yang baku di berbagai kasus kerusakan yang telah ditemukan. Akan tetapi, ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan penggantian dan perbaikan struktur pesawat udara, yaitu:

- *Maintaining Original Strength*, yaitu mempertahankan kekuatan aslinya. Artinya, kekuatan material pengganti harus sama dengan kekuatan material aslinya.

- *Keeping Weight to a Minimum*, yaitu mempertahankan berat materialnya. Artinya, jenis material pengganti tidak lebih berat dari material aslinya.
- *Maintaining Original Contour*, yaitu mempertahankan bentuk kontur sesuai aslinya. Artinya, kontur perbaikan struktur komponen tidak berubah dari bentuk aslinya.
- Tipe, ukuran, dan jumlah *rivet* yang dibutuhkan dihitung sesuai aturan agar kekuatannya sama dengan aslinya.
- Ketebalan material pengganti sama dengan tebal aslinya.

Sampai saat ini pelaksanaan perbaikan struktur rangka pesawat udara dalam pelaksanaannya tidak lepas dari penggunaan *rivet* sebagai komponen pengikatnya. Oleh sebab itu, dalam pelaksanaan *repair* struktur pesawat udara, siswa diharapkan dapat melakukan pelepasan dan pemasangan *rivet* secara baik dan benar. Ada beberapa kompetensi yang harus dimiliki siswa dalam pekerjaan *riveting*, yaitu memilih jenis *rivet* yang tepat, memilih ukuran *rivet* yang tepat, dan menghitung jumlah *rivet* yang dibutuhkan dengan benar.

1. Inspeksi Kerusakan Struktur Pesawat Udara

Inspeksi kerusakan bertujuan mengidentifikasi berbagai macam penyebab kerusakan yang terjadi di struktur pesawat udara. Dengan mengetahui penyebab kerusakan tersebut, dapat diambil tindakan yang tepat untuk melakukan perbaikan-perbaikan terhadap kerusakan struktur pesawat.

Untuk menambah wawasan tentang berbagai jenis penyebab kerusakan pada struktur pesawat, silakan kalian baca dan cermati uraian macam-macam kerusakan di bawah ini!

a. *Brinelling*

Kerusakan akibat tekanan permukaan benda lain dengan beban yang berat.

b. *Burnishing*

Goresan pada permukaan akibat gesekan permukaan benda yang keras.

c. *Burr*

Kerusakan kecil akibat gerakan benda (bertranslasi/memanjang) yang berada di bagian ujung lubang.

d. *Corrosion*

Kerusakan akibat karat/korosi.

e. **Crack**

Kerusakan akibat retak.

f. **Cut**

Hilangnya sebagian metal akibat potongan benda tajam (*saw blade, chisel, etc*).

g. **Dent**

Lekukan akibat beradu dengan benda lain.

h. **Erosion**

Pengikisan metal akibat aksi mekanik atau objek lainnya.

i. **Chattering**

Kerusakan permukaan metal /komponen yang diakibatkan oleh getaran.

j. **Galling**

Kerusakan permukaan metal/komponen akibat gesekan dua permukaan yang bergerak.

k. **Gouge**

Terjadi celah/kerusakan permukaan metal akibat beradu dengan material asing yang bertekanan berat.

l. **Inclusion**

Adanya material asing dalam suatu bagian material komponen akibat pengolahan /pembentukan selama di pabrik pembuat.

m. **Nick**

Sobekan lokal di sisi komponen.

n. **Pitting**

Meruncingnya permukaan metal.

o. **Scratch**

Goresan terhadap permukaan metal akibat cahaya atau bersinggungan dengan benda asing.

p. **Score**

Goresan yang lebih dalam dari *scratch* terhadap permukaan metal akibat bersinggungan dengan benda lain yang bertekanan.

2. Klasifikasi Kerusakan Struktur Pesawat Udara dan Metode Perbaikannya

Kerusakan dalam struktur pesawat udara dapat dikelompokkan menjadi empat golongan, yaitu *Negligible Damage*, *Damage Repairable by Patching*, *Damage Repairable by Insertion*, dan *Damage Necessitating Replacement of Parts*.

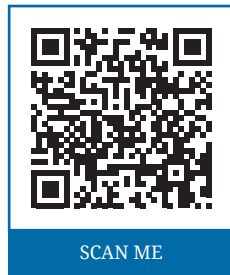
- a. ***Negligible Damage***, yaitu kerusakan ringan yang tidak mempengaruhi keutuhan (integritas) struktur secara keseluruhan. Cara perbaikannya dapat dilakukan dengan prosedur yang sederhana. Contohnya, *small dents*, *scratches*, *crack*, dan *holes*. Hal-hal tersebut dapat diperbaiki dengan cara *smoothing*, *sanding*, *stop drilling*, dan *hammering out*.
- b. ***Damage Repairable by Patching***, yaitu kerusakan yang diperbaiki dengan cara menambal atau menyisipkan material yang sama dengan aslinya, dengan menggunakan pengikat jenis *rivet* atau *bolt*. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih *patching material* yaitu jenis material sama dengan aslinya, beratnya sama atau lebih ringan dari aslinya, kekuatannya minimal sama dengan kekuatan material aslinya, dan dapat dibentuk mengikuti kontur aslinya.
- c. ***Damage Repairable by Insertion***, yaitu kerusakan yang diperbaiki dengan cara memotong bagian struktur yang rusak kemudian diganti dengan cara menyisipkan (*insert*) komponen yang baru.
- d. ***Damage Necessitating Replacement of Parts***, yaitu kerusakan yang diperbaiki dengan cara mengganti komponen yang lama dengan komponen yang baru, dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut.
 - 1) Saat terjadi kerusakan yang fatal pada komponen yang tidak bisa diperbaiki.
 - 2) Saat struktur sekelilingnya tidak memungkinkan untuk dilakukan pekerjaan perbaikan.
 - 3) Saat kerusakan komponen relatif lebih mudah diganti daripada diperbaiki.
 - 4) Saat sambungan (*fitting*) yang sifatnya ditempa atau dicor mengalami kerusakan di luar batas kerusakan yang diizinkan.

Di buku ini tidak dibahas tentang praktik perbaikan kerusakan struktur pesawat udara karena hal tersebut akan dibahas di Kelas 11 dan 12.



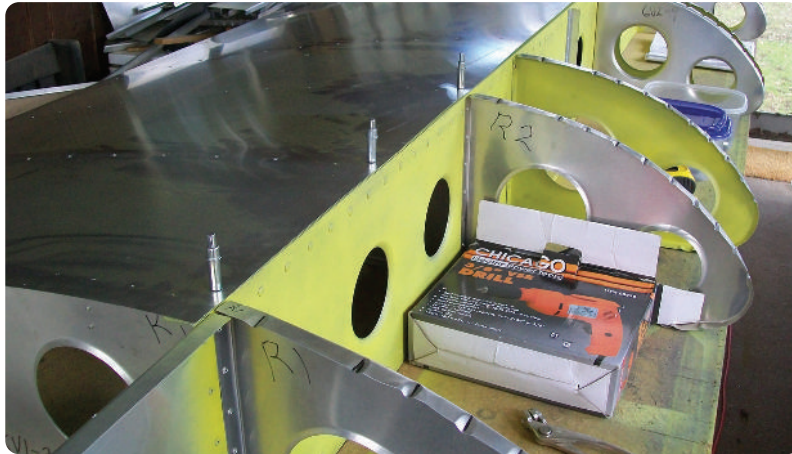
Aktivitas Pembelajaran

1. Buatlah kelompok bersama teman-temanmu. Diskusikan dan identifikasi hal-hal berikut!
 - a. Istilah-istilah dari penerbangan, wilayah udara, pesawat udara, pesawat terbang, helikopter, menurut Undang-undang RI no.1 Tahun 2009 tentang penerbangan.
 - b. Isi dari UU RI no.1 Bab VI, pasal 13 ayat 3.
 - c. Perbedaan tentang pesawat *fixed wing* dan *rotary wing*.
 - d. Penjabaran konsep "*fail safe design*".
 - e. Lokasi-lokasi yang mungkin terjadi *combination stress* dalam struktur pesawat udara.
 - f. Perbedaan tegangan yang terjadi pada permukaan atas dan bawah sayap pesawat udara saat terbang.
2. Tontonlah video di tautan berikut, atau pindai langsung melalui *QR-code* di bawah tautannya. <https://www.youtube.com/watch?v=eYRRTJsKbhU&t=28s>



Setelah selesai menonton videonya, tulislah dalam selembar kertas apa saja yang termasuk komponen utama pesawat selain *fuselage* yang sudah kita pelajari!

3. Amatilah kegiatan pemeliharaan sayap pesawat udara sesuai gambar-gambar berikut ini!



A. Drilling and Clecoing Right Wing Skin to Main Spar
 Sumber: zenith.aero/David Farlow (2012)



B. The Wing Skin Riveting Process
 Sumber: rjdauhnaircraft.com (2015)

Gambar 1.27 A, B Pemeliharaan sayap pesawat udara

Kegiatan pemeliharaan dan perbaikan apa yang kalian temukan setelah mengamati gambar A dan B tersebut? Diskusikan hasil pengamatan kalian dengan anggota kelompok masing-masing untuk bisa mengetahui tentang:

- a. Alasan penting kegiatan pemeliharaan sayap pesawat udara.
- b. Jenis-jenis kegiatan merawat sayap pesawat udara.
- c. Kemungkinan yang bisa terjadi apabila sayap pesawat udara tidak pernah dirawat.
- d. Kegiatan perawatan sayap yang memerlukan perhatian ekstra.
- e. Fungsi sayap selain sebagai penghasil gaya angkat.



Rangkuman

1. Ada lima tegangan utama yang terjadi dalam struktur pesawat udara yaitu, tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan puntir, tegangan geser/gunting, dan tegangan bending.
2. *Fuselage* adalah badan atau *body* yang merupakan struktur utama sebuah pesawat udara. Dalam *fuselage* tersebut tersedia ruangan untuk barang (*cargo*), ruang pengendali (*control*) yang disebut *cockpit*, ruang perlengkapan (*accessories*), ruang penumpang (*passengers*) yang disebut *cabin*, dan ruang perlengkapan lainnya.
3. Konstruksi *fuselage* terbagi menjadi dua macam, yaitu *Truss type* dan *Monocoque type*. Tipe *monocoque* terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *Full Monocoque*, *Semi Monocoque*, dan *Reinforced Shell*.
4. Konstruksi *Full Monocoque* mengandalkan kekuatan *skin* untuk menahan beban, sedangkan rangka bagian dalam berfungsi sebagai penahan bentuk saja. Konstruksi *full monocoque* terdiri dari *formers*, *bulkhead* dan *skin*.
5. Konstruksi *Semi monocoque* terdiri dari *Formers*, *bulkheads*, *longeron*, *stringers* dan *skin*. Konstruksi *semi monocoque* sebagian besar dibuat dari aluminium paduan, magnesium paduan, serta sebagian kecil *steel* dan *titanium* untuk daerah temperatur tinggi.
6. Konstruksi *reinforced cell* pada dasarnya sama dengan *semi monocoque* yang terdiri dari *formers*, *bulkheads*, *longeron*, *stringers*, dan *skin*. Kelebihan konstruksi *reinforced cell* yaitu memiliki *skin* yang dikuatkan oleh komponen- komponen struktural yang lebih lengkap.
7. *Location numbering systems* adalah sistem penomoran lokasi yang diukur dari patokan atau referensi tertentu bagian struktur pesawat udara. Manfaat mempelajari *location numbering system* adalah mempermudah mekanik mencari posisi dan letak suatu komponen pesawat udara untuk kepentingan perawatan dan perbaikan.
8. Rancangan konstruksi sayap dibagi dalam tiga kategori, yaitu *Mono-spar*, *Multi-spar*, dan *Box-Beam*.
9. Sayap dengan rancangan *mono-spar* memiliki satu komponen longitudinal utama (*spar*) dan *rib* atau *bulkhead* yang membentuk dan memberi kontur sayap.

10. Rancangan sayap *multi-spar* memiliki lebih dari satu komponen longitudinal utama (*spar*), dan dipasang *rib* atau *bulkhead* untuk memberikan bentuk dan kontur sayap.
11. Rancangan konstruksi sayap jenis *Box-Beam* menggunakan dua komponen longitudinal utama (*spar*), serta *rib* atau *bulkhead* sebagai pemberi bentuk sayap.



Tes Formatif

1. Bacalah UU RI No.1 tahun 2009 tentang Penerbangan kemudian jawablah soal-soal berikut secara tepat, sesuai keterangan di undang-undang tersebut!
 - a. Jelaskan perbedaan antara pesawat udara dan pesawat terbang, menurut UU RI No.1 tahun 2009!
 - b. Jelaskan apa yang dimaksud dengan penerbangan!
2. Sebutkan beberapa cara untuk menyambung material/komponen rangka pesawat udara!
3. Apa saja fungsi fuselage dalam pesawat udara? Jelaskan secara detail!
4. Apa perbedaan antara konstruksi *Full Monocoque* dengan *Semi Monocoque*? Jelaskan secara tepat!
5. Apa yang dimaksud *Location Numbering Systems*? Apa fungsinya? Jelaskan
6. Uraikan bagaimana *wings* dapat menghasilkan *lift* dan jelaskan fungsi sayap selain penghasil *lift*!
7. Deskripsikan bagian-bagian struktur Wings dengan tepat! Mengapa di *wing* perlu adanya *access door*? Jelaskan!



Refleksi

Berilah tanda centang (✓) di materi yang telah kalian pahami!

- Memahami peraturan dan konsep rancang bangun Pesawat Udara
- Memahami bagian-bagian utama struktur pesawat
- Memahami jenis-jenis *fuselage*
- Memahami jenis-jenis tegangan pada struktur pesawat
- Memahami fungsi sayap dan kinerjanya

Jika ada materi yang belum kalian pahami, silakan diskusikan bersama temanmu yang sudah paham atau tanyakan kepada gurumu.



Pengayaan

Untuk mengetahui, memahami, dan menambah wawasan tentang industri manufaktur serta pemeliharaan dan perawatan pesawat udara, Silakan jelajahi internet melalui alamat situs-situs berikut ini.

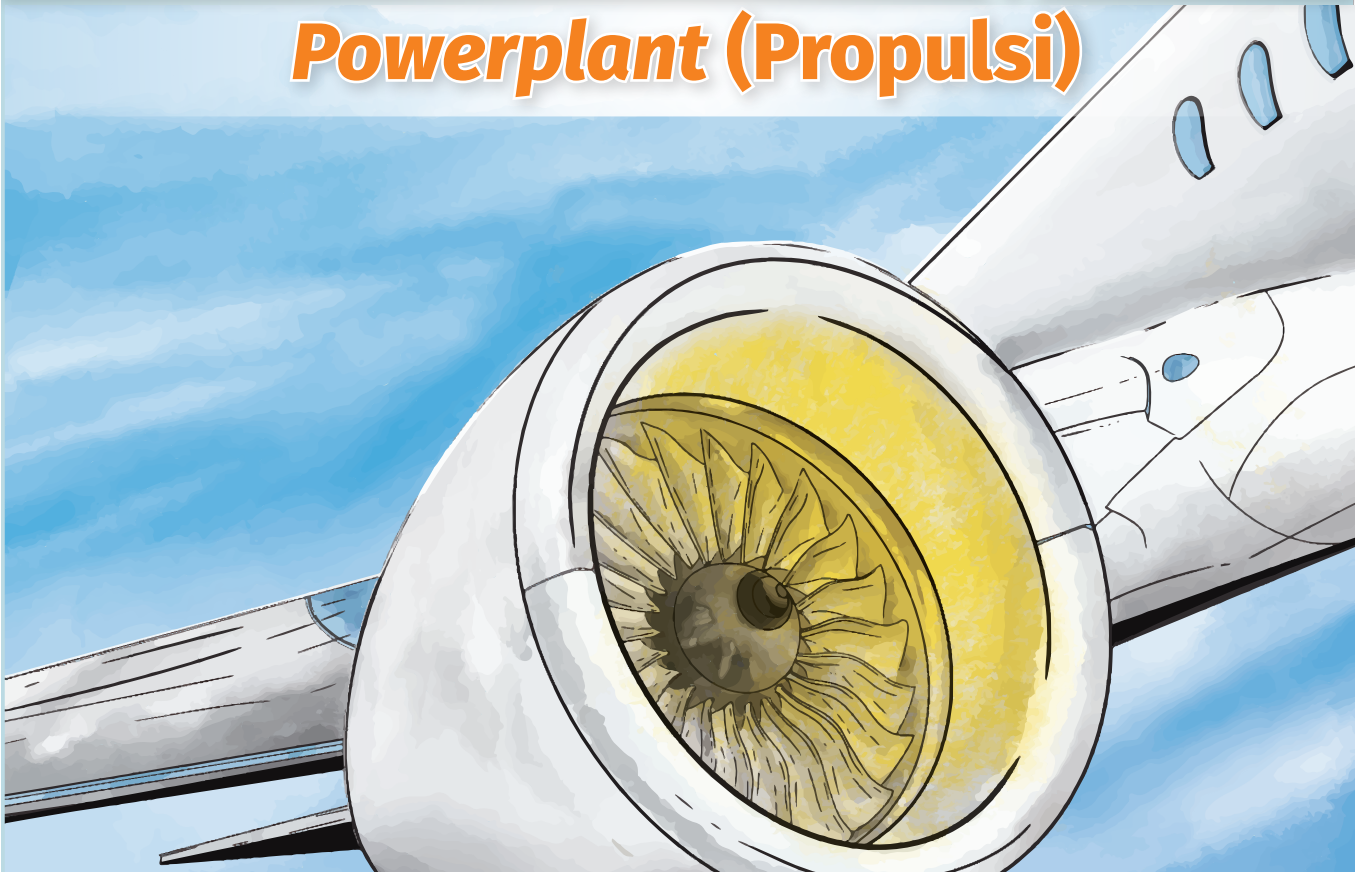


SCAN ME



SCAN ME

Powerplant (Propulsi)



***Amatilah mesin pesawat udara berjenis piston dan gas turbine engine!
Mengapa terdapat perbedaan maksimal ketinggian pesawat udara dari kedua
jenis mesin tersebut?***



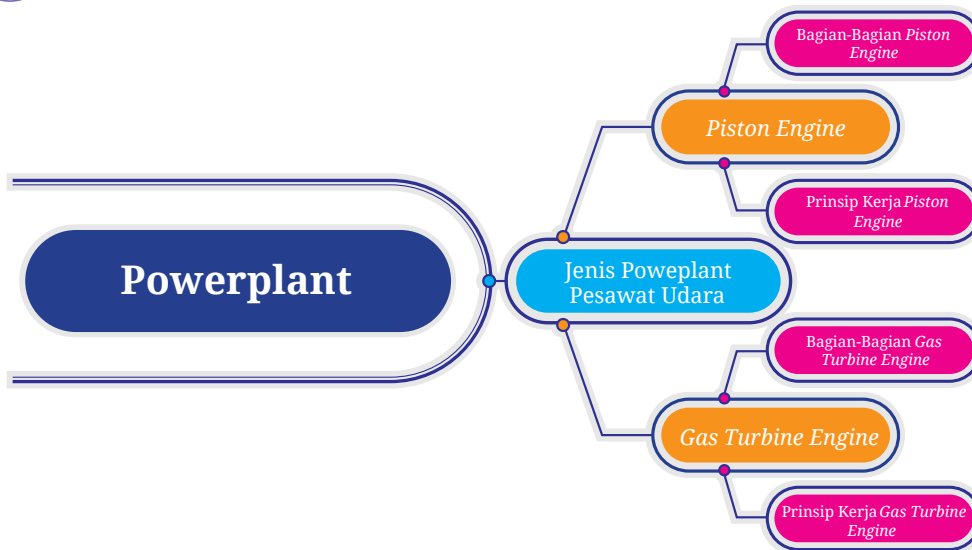
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami jenis tenaga pendorong (propulsi) yang digunakan pesawat udara.
2. Memahami bagian-bagian propulsi pada pesawat udara.
3. Menginterpretasikan bagian-bagian propulsi pesawat udara.
4. Memahami komponen dan sistem mesin piston.
5. Menjabarkan perhitungan kinerja mesin piston.



Peta Konsep



Kata Kunci

Powerplant, piston engine, gas turbine engine, crankshaft, crankcase, camshaft, rocker arm, connecting rod, spark plug, cylinder, head cylinder, fan, compressor, combustion chamber, turbine, exhaust.

Bagaimana caranya sebuah pesawat udara dapat bergerak ke depan dengan kecepatan? Mesin seperti apa yang digunakan pesawat untuk *climbing* ke ketinggian tertentu? Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, pada bab ini kalian akan mempelajari fungsi *propulsi* dan hubungannya dengan gaya dorong pesawat udara.

Powerplant/Aircraft engine secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu *piston engine* dan *gas turbine engine*. Sebagai bahan eksplorasi materi *propulsi* ini, kalian dapat menontonnya di kanal *youtube* dengan memindai *QR-code* di bawah ini.



SCAN ME

Setelah menonton video di kanal youtube sesuai QR code di samping, tulislah informasi apa saja yang kalian peroleh dari video tersebut!

A. Jenis Mesin Pesawat Udara

Pesawat memerlukan tenaga dorong (*thrust*) agar menghasilkan kecepatan yang cukup sehingga sayap mendapatkan gaya angkat (*lift*) untuk mengatasi berat pesawat terutama saat *take off*. Gaya dorong pesawat harus lebih besar dari gaya hambat agar pesawat dapat mempertahankan posisinya di udara.

Motor-motor dengan sumber tenaga dari panas yang diubah menjadi tenaga mekanis atau pancaran gas yang diubah menjadi tenaga kinetik merupakan motor yang banyak dipakai untuk menggerakkan pesawat terbang.

Tenaga pendorong (*propulsi*) yang biasa digunakan pesawat udara secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu jenis *reciprocating engine* (atau biasa dikenal dengan *piston engine*) dan *gas turbine engine*. Keduanya hingga saat ini masih digunakan dan menjadi salah satu komponen pesawat udara yang sangat vital.

Gas Turbine Engine digunakan untuk mesin pesawat komersial berpenumpang jenis *wide body*, *narrow body*, maupun pesawat perintis. Sedangkan *piston engine* lebih banyak digunakan untuk pesawat-pesawat jenis *light aircraft* (pesawat berbadan ringan) untuk latihan para calon pilot dan penerbangan eksperimental. Meski begitu, tidak semua pesawat bermesin piston hanya digunakan untuk latihan, ada juga yang dipakai sebagai pesawat pengangkut penumpang di daerah-daerah terpencil.



Gambar 2.1 Jenis *Light Aircraft* dengan *Piston Engine* sebagai Pendorongnya

Sumber: Maruli Tua/Asep Gunawan 2022



Gambar 2.2 Jenis Pesawat yang Menggunakan *Gas Turbine Engine* sebagai Pendorongnya
Sumber gambar: wikipedia.org/Juergen Lehle (2007)

1. Karakteristik *Piston Engine*

Piston Engine sebagai gaya pendorong (propulsi) pesawat memiliki karakteristik sebagai berikut.

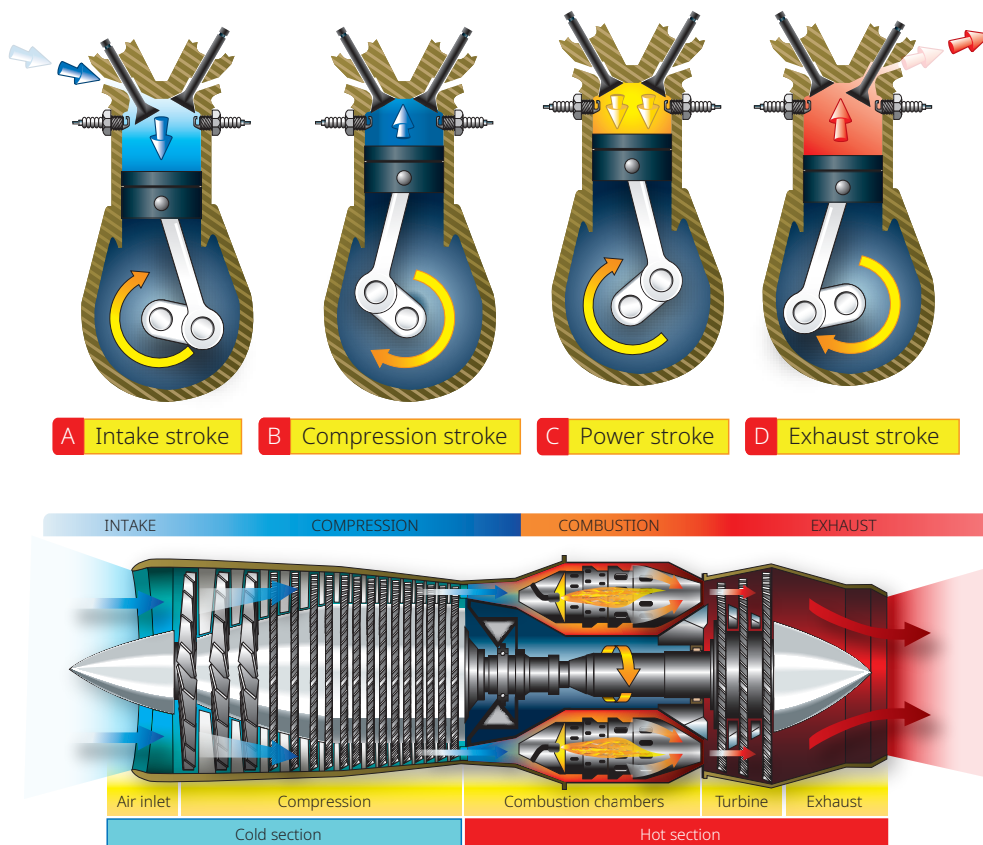
- a. Kecepatan pesawat rendah.
- b. Ketinggian terbang rendah <8.000 *feet*.
- c. Efisiensi rendah pada *high altitude*.
- d. Putaran rendah, *vibration* tinggi.
- e. Piston bergerak secara translasi bolak-balik, diubah oleh *crankshaft* menjadi gerak rotasi.
- f. Komponen mesin lebih banyak.
- g. Bahan bakar AVGAS 110.
- h. Proses kerja hingga proses pembakaran dikerjakan dalam satu ruang.

2. Karakteristik *Gas Turbine Engine*

Gas Turbine Engine sebagai gaya pendorong (propulsi) pesawat memiliki karakteristik sebagai berikut.

- a. Kecepatan pesawat tinggi.
- b. Ketinggian terbang tinggi > 10.000 *feet*.

- c. Efisiensi tinggi pada *high altitude*.
- d. Putaran tinggi, *vibration* rendah.
- e. Komponen mesin lebih sedikit.
- f. Turbin bergerak secara rotasi.
- g. Memiliki *noise* yang tinggi.
- h. Menggunakan bahan bakar AVTUR (kerosene).
- i. Proses kerja dilakukan di masing-masing komponen sehingga proses pembakaran hanya terjadi di bagian *combustion chambers*.



Gambar 2.3 Perbedaan Prinsip Kerja *Piston Engine* dan *Gas Turbine Engine*

Sumber: *Airplane Flying Handbook/FAA (2021)*

B. Prinsip Kerja dan Jenis Mesin Piston

Terdapat perbedaan prinsip dasar antara *piston engine* dengan *gas turbine engine*. *Piston Engine* bekerja dengan menggunakan sistem pembakaran terputus-putus (*discontinue*), sedangkan *gas turbin engine* pembakarannya berkelanjutan (*continue*) selama *engine* bekerja.

1. Prinsip Kerja Piston Engine

Nicolaus Otto atau dikenal sebagai “Dr. Otto” yang kali pertama berhasil menciptakan mesin yang bekerja berdasarkan prinsip pengoperasian mesin, dengan memasukkan campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder yang kemudian dikompresi oleh piston. Campuran bahan bakar dan panas terbakar mengakibatkan terjadi kenaikan suhu yang cepat sehingga menyebabkan tekanan gas dalam silinder naik dan mendorong piston turun.

Piston Engine atau disebut juga mesin torak, merupakan mesin yang menggunakan *piston* (torak) sebagai tenaga penggerak. Piston yang bergerak secara linier naik turun dihubungkan dengan *crankshaft* atau poros engkol melalui *connecting rod* untuk memutar *propeller*. Mesin mengubah energi panas menjadi energi mekanik.

Piston engine yang digunakan secara general di pesawat udara spesifikasinya 4 langkah (*four stroke*) bensin (*gasoline*), berdasarkan alasan-alasan teknis bahwa motor 4 langkah lebih banyak menguntungkan dibandingkan dengan spesifikasi 2 langkah dan diesel.

Sedangkan piston engine spesifikasi 2 langkah banyak digunakan di pesawat udara kategori aeromodelling, mengingat konstruksinya lebih ringan dan lebih mudah dalam perawatannya.

Prinsip kerja motor piston 4 langkah adalah : dalam 1 kali proses pembakaran atau usaha, terdiri dari 4 langkah piston, menghasilkan 2 putaran poros engkol (*crankshaft*), dalam hal ini penulis membuat rumusan untuk mempermudah ingatan yaitu **1 : 4 : 2** .

Empat langkah piston yang dimaksud secara berurutan adalah:

1. Langkah Isap (*Suction*)
2. Langkah Tekan/Kompresi (*Compression*)
3. Langkah Kerja/Usaha (*Expansion work*)
4. Langkah Buang

Prinsip kerja motor piston 2 langkah yaitu dalam 1 kali proses pembakaran atau usaha terdiri dari 2 langkah piston menghasilkan 1 putaran poros engkol (*crankshaft*). Dalam hal ini penulis membuat rumusan untuk mempermudah ingatan yaitu **1 : 2 : 1**.

Dua langkah piston yang dimaksud secara berurutan adalah:

1. Saat langkah isap (*suction*), bersamaan piston bergerak menuju TMA/TDC melakukan kompresi (*compression*) kemudian proses pembakaran.
2. Setelah pembakaran terjadi ekspansi gas sehingga terjadi langkah kerja/usaha, piston bergerak menuju TMB/BDC sehingga terjadi proses pembuangan gas melalui *exhaust port*, sementara campuran bahan bakar di ruang silinder akan masuk ke ruang bakar siap menunggu dikompresi.

Dengan demikian, dalam prinsip kerja motor piston 2 langkah, dalam satu gerakan piston ada dua proses yang terjadi dalam waktu relatif bersamaan.



Gambar 2.4 *Piston Engine Tipe Opposed* Pesawat Jabiru SMKN 29 Jakarta
Sumber: ANTARA/M Agung Rajasa (2011)

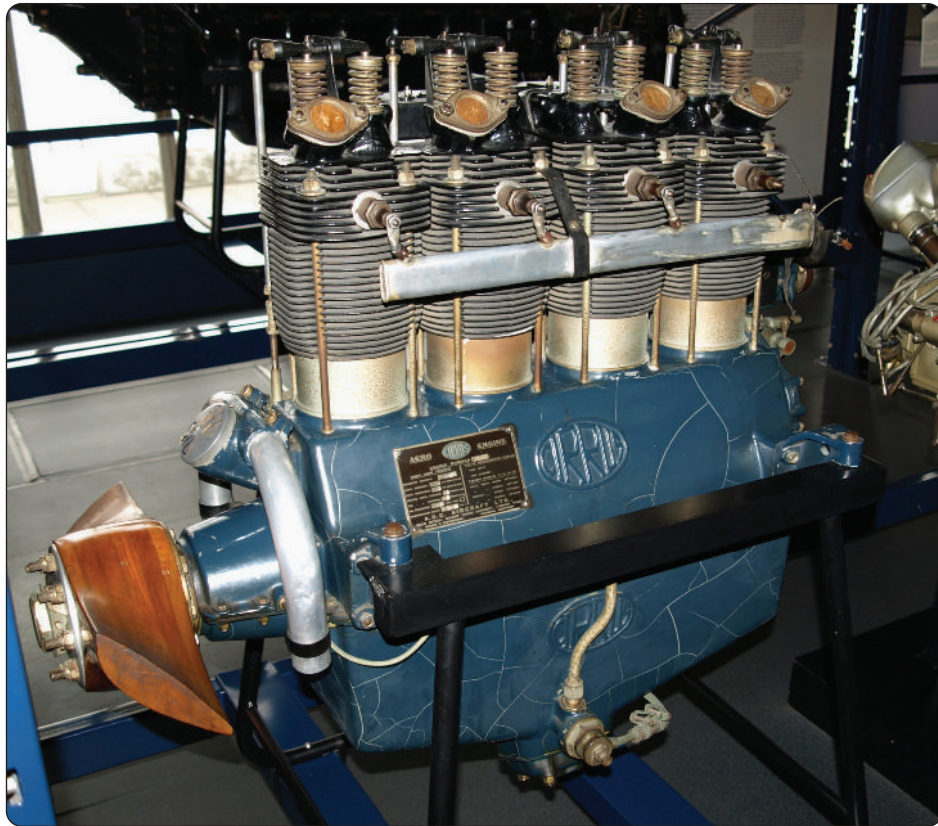
2. Jenis *Piston Engine*

Piston Engine dinamakan juga *Reciprocating Engine* karena gerakannya yang naik turun. Berdasarkan posisi silinder terhadap *crankshaft*, *piston engine*

terbagi dalam beberapa tipe, yaitu *Inline* (tipe satu garis), *V-Type* (tipe V), *Radial Type* (tipe radial), dan *Opposed Type* (tipe berlawanan).

a. *Inline*

Tipe *inline* (satu garis) umumnya mempunyai silinder berjumlah genap, namun yang tiga silinder juga pernah dibuat. Posisi *crankshaft* ada yang di bawah atau di atas silinder, jika posisi *crankshaft* di atas silinder *engine* disebut *inverted engine*.

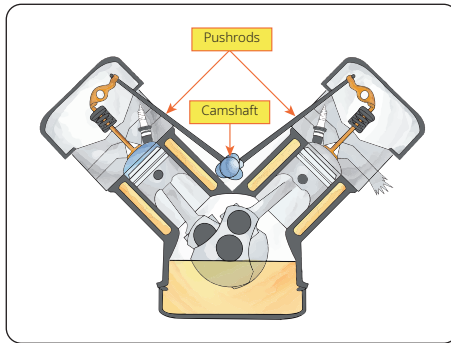


Gambar 2.5 Piston Tipe Satu Garis

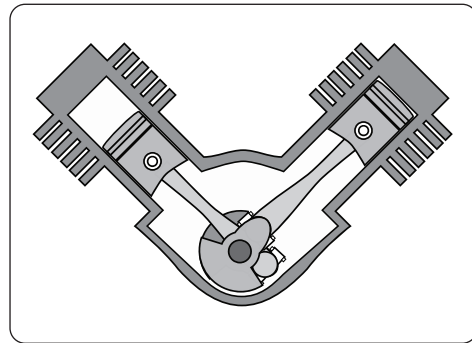
Sumber: [wikipedia.org/Nimbus227](https://www.wikipedia.org/Nimbus227) (2011)

b. *V-Type Engine*

Piston Engine tipe ini meletakkan silinder di posisi yang disusun dalam dua baris dengan tepinya bersudut 60°.



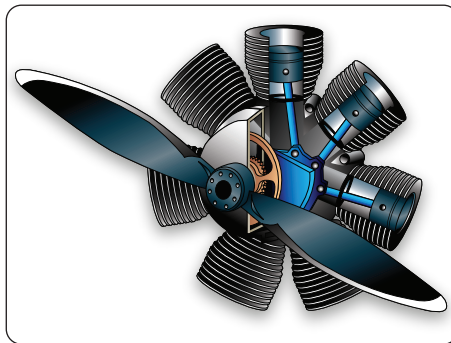
Gambar 2.6 Piston Tipe V
 Sumber: Howstuffworks.com (2010)



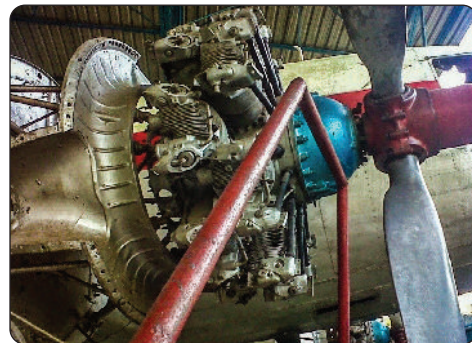
Gambar 2.7 Konfigurasi Piston V
 Sumber: wikipedia.org/Azure.km (2011)

c. Radial Type

Tipe ini terdiri dari satu atau dua baris silinder yang melingkar dengan posisi *crankcase* di tengah.



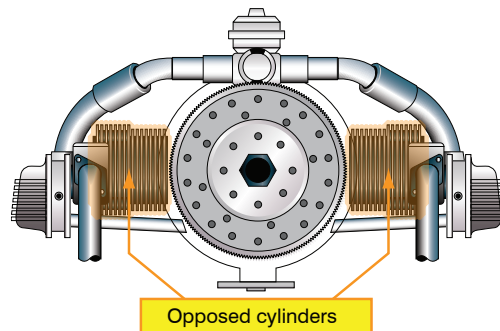
Gambar 2.8 Tipe Piston Radial
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



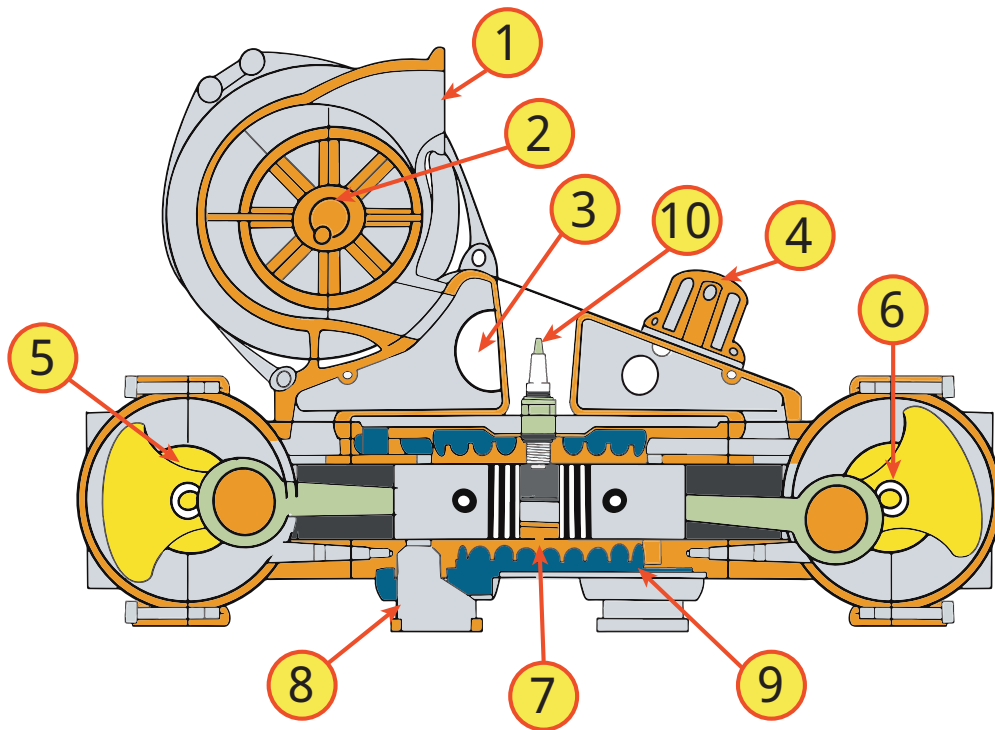
Gambar 2.9 Konfigurasi Piston V
 Sumber: Maruli Tua, Asep Gunawan

d. Opposed Type

Opposed Type (tipe berlawanan) terdiri dari dua baris silinder yang masing-masing berlawanan arah satu sama lainnya.



Gambar 2.10 A *Opposed Type* engine
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



Gambar 2.10 B Schematic Of A Opposed-Piston Engine

Sumber: wikipedia.org/UtznOnBike (2005)

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Intake for fuel-air mixture | 6. Inlet crank mechanism |
| 2. Supercharger | 7. Cylinder with inlet and outlet slots |
| 3. Airbox | 8. Exhaust |
| 4. Boost relief valve | 9. Water cooling jacket |
| 5. Outlet crankshaft | 10. Spark plug |

Saat ini pesawat dengan *piston engine* umumnya menggunakan jenis *opposed type*.

3. Jenis Gas Turbine Engine (GTE)

Gas Turbine Engine (GTE) adalah mesin tipe *rotary engine* yang termasuk mesin dengan pembakaran internal. Media kerja yang digunakan di mesin ini adalah udara yang mengandung oksigen 21%. Udara diisap melalui *inlet duct* dan dinaikkan tekanannya oleh kompresor kemudian masuk ke dalam

ruang pembakaran melalui *diffuser*, 25% udara dicampur dengan bahan bakar kerosene melalui *fuel jet spray nozzle*. Selanjutnya, campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar oleh *spark igniter* sehingga timbul tekanan tinggi. Akibat temperatur pembakaran tinggi maka tekanan gas mengalir dengan kecepatan tinggi yang mendorong turbin sehingga berputar.

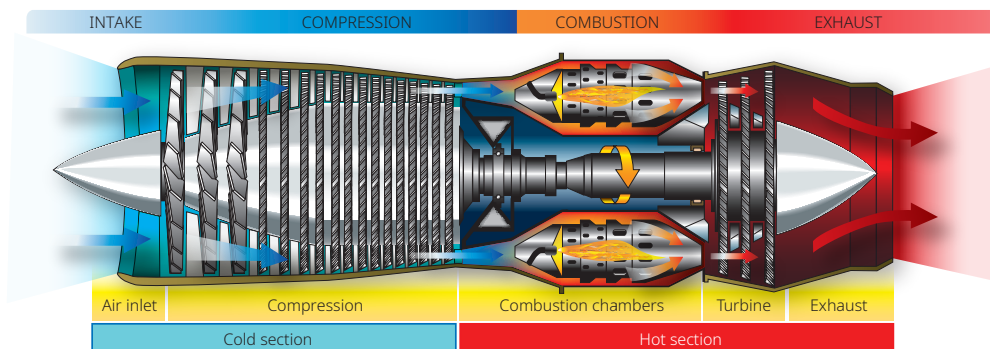
Mesin yang termasuk GTE yaitu *turbojet engine*, *turboprop engine*, *turboshaft engine*, dan *turbofan engine*.

a. *Turbojet Engine*

Mesin turbojet adalah mesin jet yang paling sederhana, biasanya dipakai untuk pesawat-pesawat jet awal atau pesawat-pesawat jet berkecepatan tinggi. Contoh dari mesin ini adalah mesin Rolls-Royce Olympus 593 yang dipakai pesawat *concorde*.

Selain menggerakkan pesawat, mesin ini juga bisa dipakai untuk menggerakkan kereta api dan kapal laut, misalnya mesin Marine Olympus yang berkekuatan 28.000 *hp* (*horse power*) atau setara dengan 21 megawatt yang digunakan untuk menggerakkan kapal perang modern berbobot 20.000 ton yang beroperasi dalam kecepatan tinggi.

Turbojet terdiri dari saluran masuk udara, kompresor udara, ruang pembakaran, turbin gas (yang menggerakkan kompresor udara), dan *nozzle*. Udara dikompresi ke dalam ruang bakar, dipanaskan dan dimuaikan dengan sangat cepat kemudian dibiarkan mengalir menuju turbin dengan kecepatan tinggi untuk menghasilkan propulsi yang memutar kompresor.

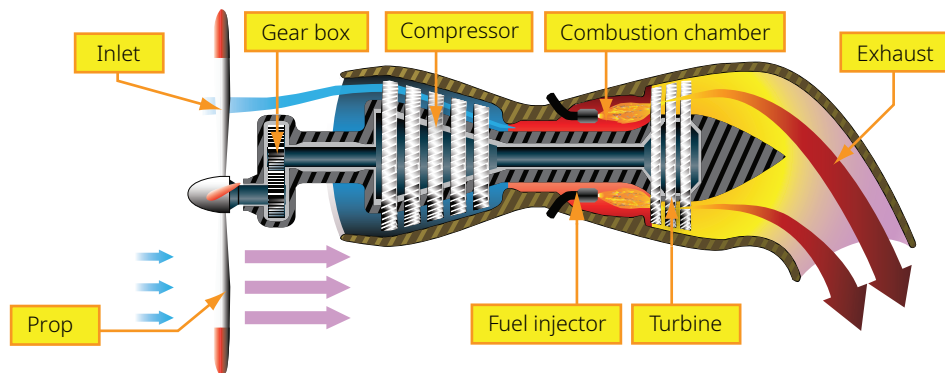


Gambar 2.11 Komponen Utama *Turbojet Engine*

Sumber: *Airplane Flying Handbook/FAA* (2021)

b. *Turboprop Engine*

Pada awal perkembangan *engine*, umumnya pesawat komersial menggunakan sistem penggerak *turbo propeller* atau yang biasa disebut dengan turboprop. Sistem *turboprop* tidak jauh berbeda dengan *turbojet*, tetapi energi (*thrust*) yang dihasilkan dari putaran *propeller* hanya sebesar 85%. Putaran *propeller* digerakkan oleh turbin yang menerima ekspansi energi dari hasil pembakaran, sedangkan 15% energi sisanya menjadi *exhaust jet thrust (hot gas)*.



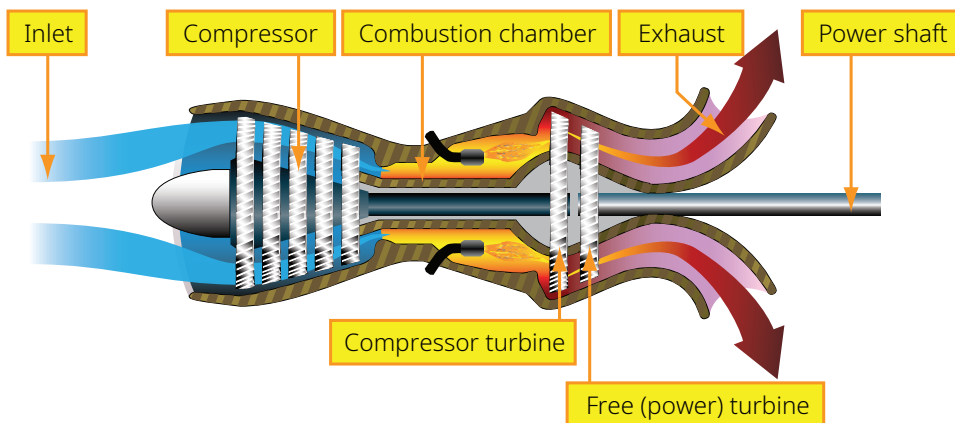
Gambar 2.12 Komponen *Turboprop*

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

c. *Turboshaft Engine*

Mesin *Turboshaft* sebenarnya adalah mesin *turboprop* tanpa *propeller*. *Power turbin*-nya terhubung langsung dengan *reduction gearbox* atau ke sebuah *shaft* (sumbu) sehingga tenaga mesin ini diukur dalam *shaft Horsepower (shp)* atau kilowatt (KW).

Jenis mesin ini umumnya digunakan untuk menggerakkan helikopter, yaitu menggerakkan *rotor* utama maupun *rotor ekor (tail rotor)*. Selain itu, mesin ini juga digunakan di sektor industri dan maritim termasuk untuk pembangkit listrik, stasiun pompa gas dan minyak, *hovercraft*, dan kapal. Contoh mesin ini adalah GEM/RR 1004 bertenaga 900 shp yang diterapkan pada helikopter type Lynx dan mesin Gnome 1.660 shp (1.238 kW) pada helikopter Sea King. Adapun versi industri lain adalah mesin pembangkit listrik 25-30 MW Roll-Royce RB 211 dengan 35.000-40.000 shp.

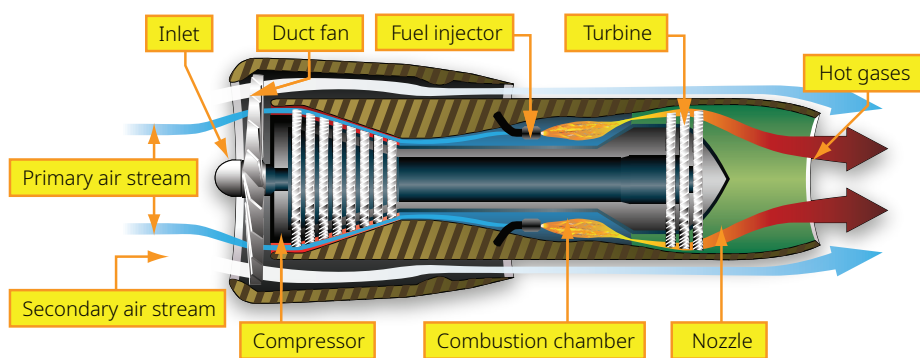


Gambar 2.13 Bagian dari *Turboshift Engine*
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

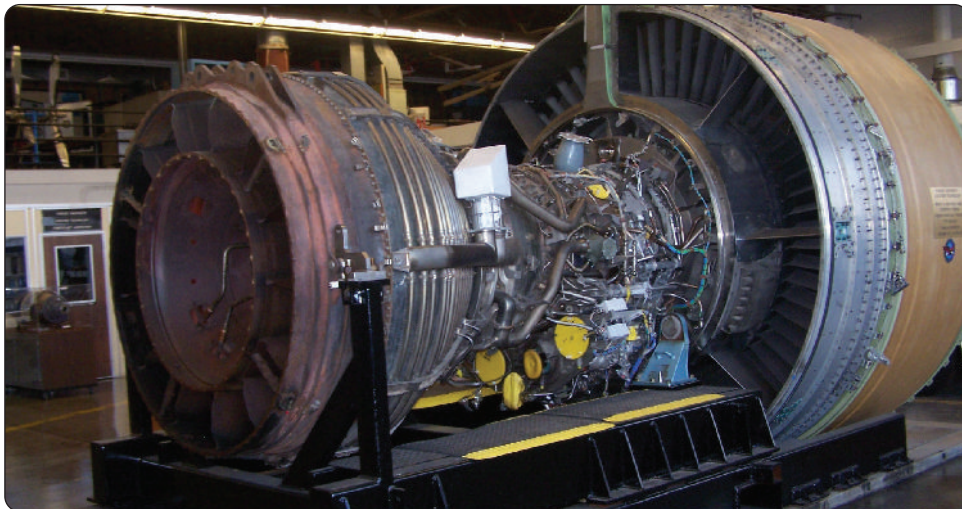
d. *Turbofan Engine*

Mesin *turbofan* adalah mesin termmodern saat ini yang menggabungkan teknologi *turboprop* dengan *turbojet*. Mesin ini umumnya terdiri dari sebuah kipas internal dengan sebuah turbojet kecil yang terpasang di belakangnya untuk menggerakkan kipas tersebut. Aliran udara yang masuk melalui kipas ini melewati turbojet, tempat sebagian kecil udara itu dibakar untuk menghidupi kipas, dan sisa udara digunakan untuk menghasilkan dorongan.

Semua mesin jet yang digunakan untuk pesawat jet komersial masa kini adalah mesin *turbofan*. Mesin ini lebih banyak digunakan karena sangat efisien dan *noise* relatif lebih kecil.



Gambar 2.14 A Operasi *Turbofan*
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



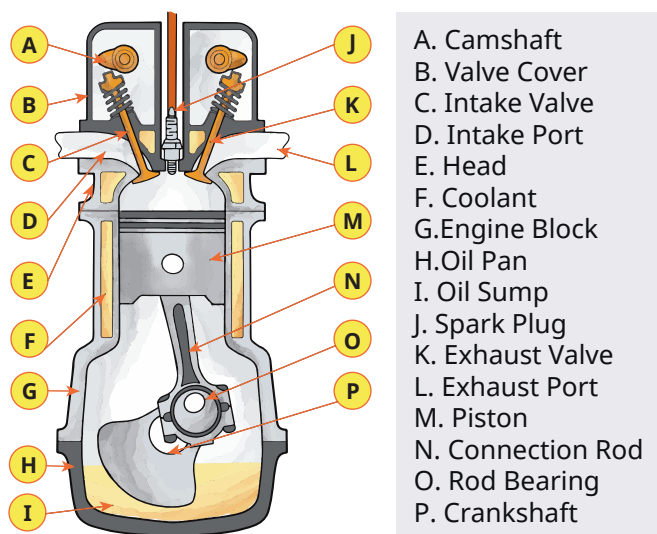
Gambar 2.14 B Jenis *Turbofan Engine*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

C. Komponen dan Sistem Mesin Piston

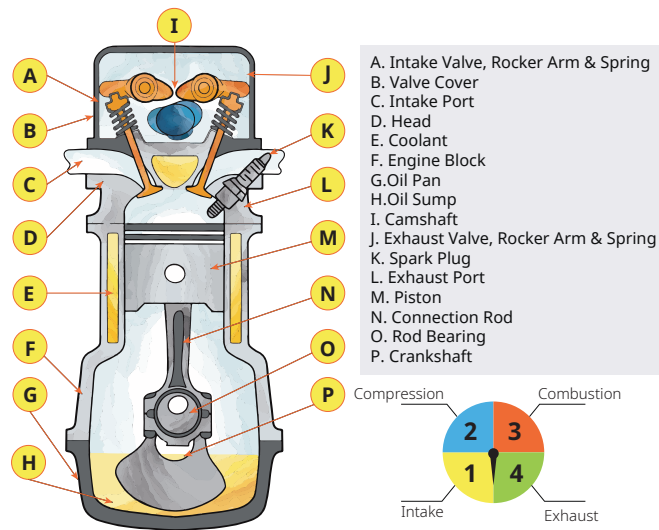
1. Komponen *Piston Engine*

Piston Engine memiliki komponen-komponen pendukung yang dapat menghasilkan tenaga pendorong di pesawat terbang. Komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada gambar *piston engine* berikut ini.



Gambar 2.15 Komponen *Piston Engine with 2 Cam*

Sumber: auto.howstuffworks.com (2012)



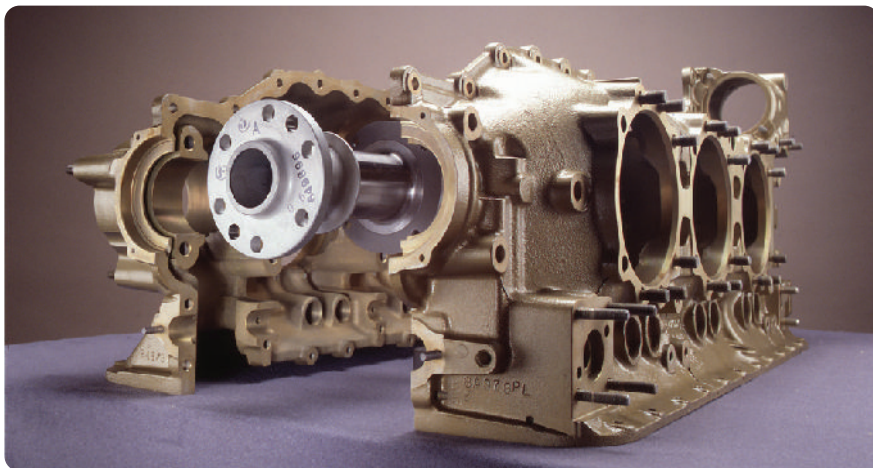
Gambar 2.16 Komponen *Piston Engine with 1 Cam*

Sumber: auto.howstuffworks.com (2012)

a. *Crankcase*

Komponen *crankcase* di *piston engine* berfungsi sebagai berikut.

- 1) Tempat kedudukan (*casing*) *cylinder*, *oil sumps*, *crankshaft*, dan *camshaft*.
- 2) Tempat mekanisme *lubricating oil*.
- 3) Tempat dudukan (*mounting*) ke *airframe*.
- 4) Penahan/transfer beban internal dan eksternal.



Gambar 2.17 Komponen Piston untuk *Crankcase*

Sumber: victor-aviation.com (2022)

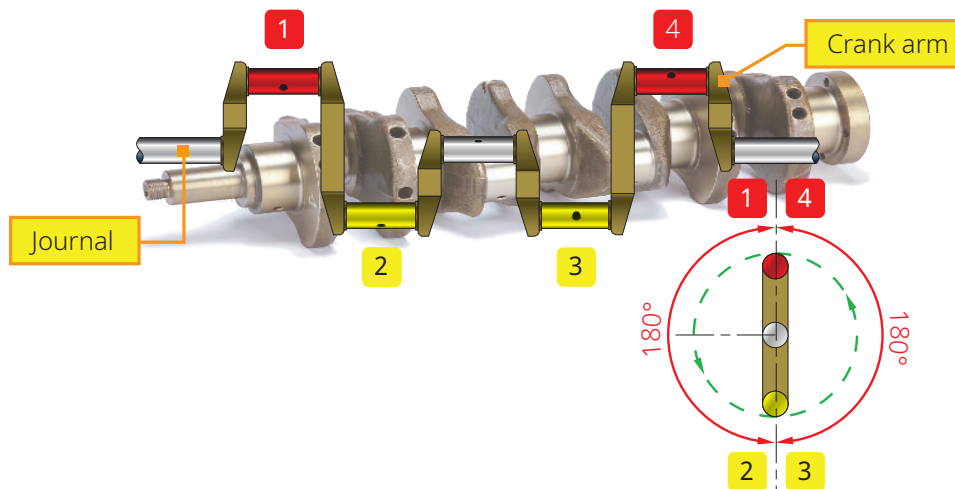
b. Poros Engkol (*Crankshaft*)

Komponen *crankshaft* yang ada di piston berfungsi mentransfer gerak yang dihasilkan piston dan *connecting rod* (stang seher) menjadi gerakan putar untuk memutar propeler pesawat terbang. Adapun *crankshaft* di kendaraan mobil gerakan putarnya akan dihubungkan dengan *gear-gear* yang ada di dalamnya. Itulah bedanya hasil putar dari *crankshaft* pesawat dengan mobil maupun motor.



Gambar 2.18 A Komponen *Crankshaft*

Sumber: flickr.com/Abilene Machine (2012)



Gambar 2.18 B Piston crankshaft

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

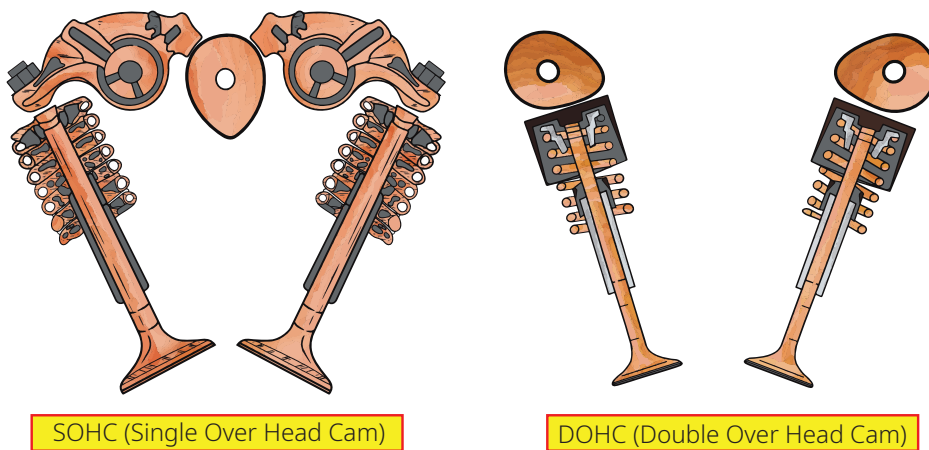
c. *Camshaft*

Camshaft atau noken as berfungsi membuka tutup katup isap dan katup buang. Katup isap adalah komponen yang mengisap campuran bahan bakar udara ke dalam ruang bakar. Sebaliknya, katup buang menyalurkan sisa pembakaran ke knalpot.



Gambar 2.19 A *Camshaft*

Sumber: multisparepart.com (2018)



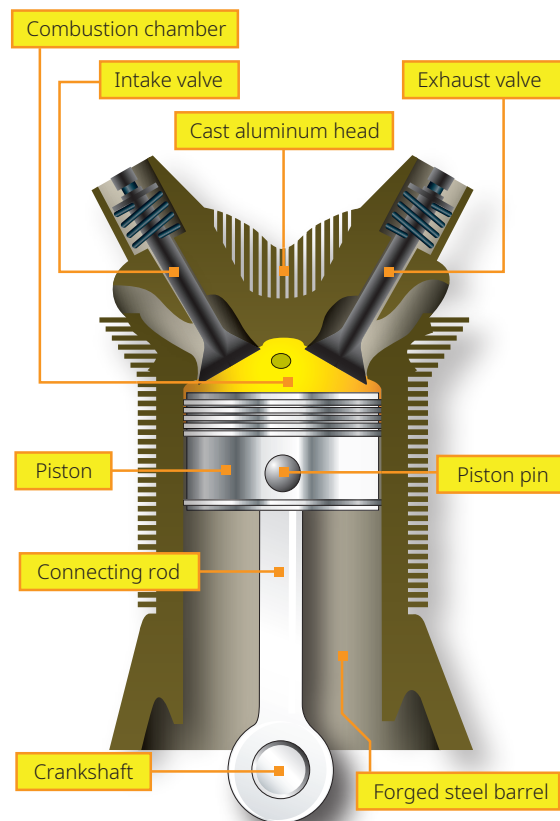
Gambar 2.19 B *Camshaft* Jenis SOHC dan DOHC

d. **Blok Silinder**

Komponen blok silinder di *piston engine* berfungsi sebagai berikut.

- 1) Tempat kedudukan silinder dan kepala silinder.
- 2) Tempat mekanisme engkol berlangsung (poros engkol, *con rod*, piston).

- 3) Tempat terjadinya proses langkah-langkah pembakaran.
- 4) Tempat piston naik turun saat bekerja.
- 5) *Engine cooling* (menjaga temperatur komponen mesin agar tidak mengalami *overheat*).



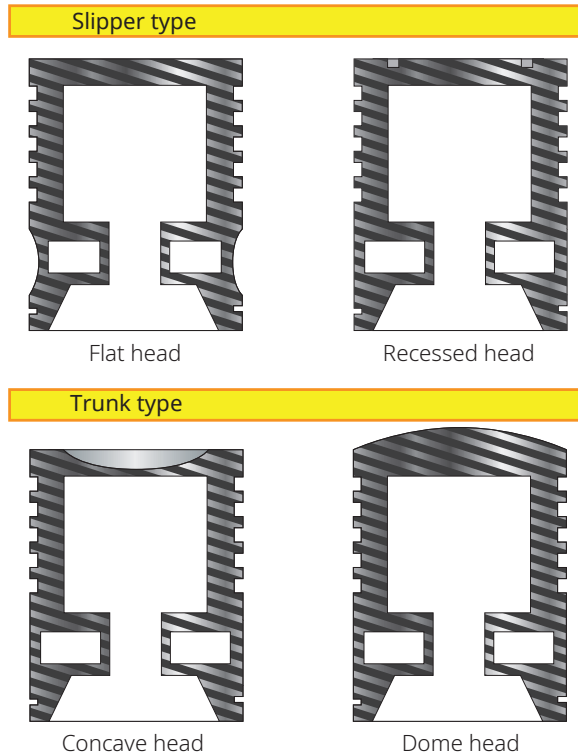
Gambar 2.20 Komponen Silinder

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

e. *Piston*

Piston merupakan komponen penting dari *assembly piston engine*. Komponen ini berbentuk silindris yang bergerak maju mundur atau naik turun di dalam laras silinder. Karena gerakan naik turun inilah, piston disebut juga *plunger*. Piston berfungsi sebagai gaya tekan dari gas pembakaran menjadi gerakan lurus, dan sebaliknya dari gerakan lurus menjadi gaya tekan.

Saat mesin bekerja, torak didorong oleh gas pembakaran ke arah poros engkol, kemudian gerakan torak menjauhi poros engkol mendorong gas sisa pembakaran keluar saat langkah pembuangan. Selanjutnya torak bergerak mendekati poros engkol lagi untuk mengisap campuran bahan bakar dan udara masuk ke silinder. Torak bergerak lagi menjauhi poros engkol untuk memanfaatkan bahan bakar dan udara saat langkah kompresi.



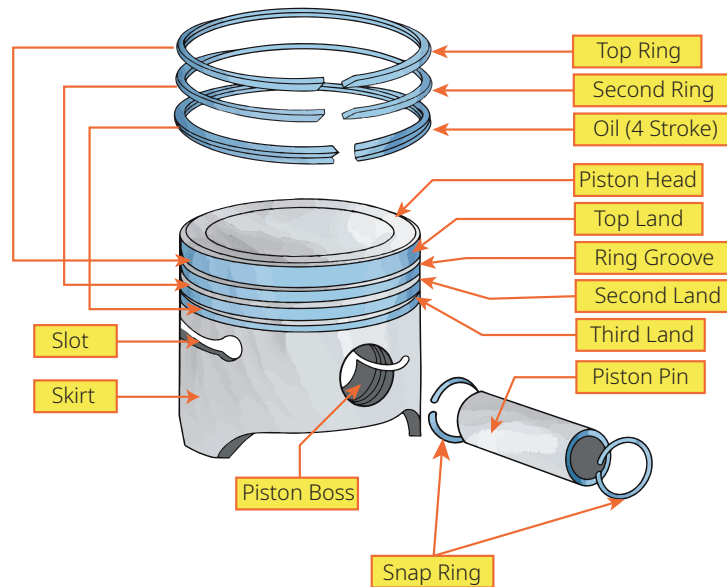
Gambar 2.21 Jenis-jenis Piston

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Cincin torak atau ring piston ada dua jenis, yaitu:

- 1) Cincin kompresi, terpasang dekat kepala torak. Cincin kompresi berguna untuk:
 - a) Menahan agar gas pembakaran tidak bocor masuk ke rumah engkol.
 - b) Mencegah agar minyak pelumas tidak masuk ke ruang pembakaran.
 - c) Memindahkan panas dari torak ke dinding laras silinder.

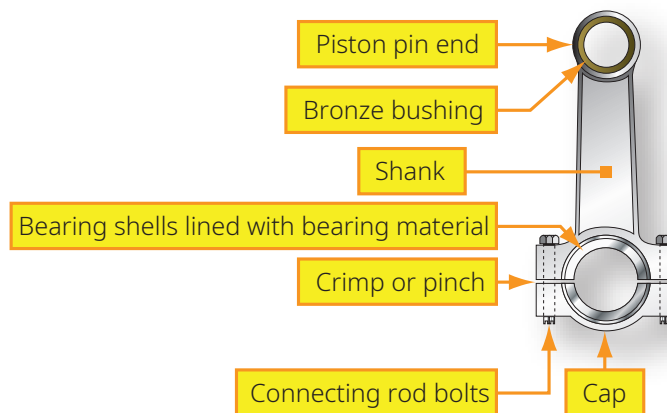
- 2) Cincin pelumas, dipasang di bawah cincin torak. Cincin pelumas berguna untuk mengontrol dan meratakan minyak pelumas di dinding laras silinder. Cincin pelumas ada dua macam, yaitu cincin pengontrol oli dan cincin pelumasan.



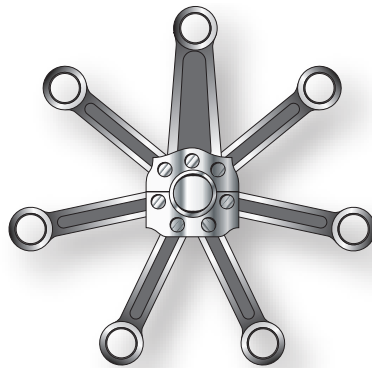
Gambar 2.22 Bagian dari Ring Piston
Sumber: EASA (2015)

f. *Connecting Rod*

Connecting rod adalah batang penghubung antara piston dengan poros engkol yang berfungsi sebagai perantara untuk mengubah gerakan lurus torak menjadi gerakan perputaran poros engkol.



Gambar 2.23 Bagian-Bagian Kecil *Connecting Rod*
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

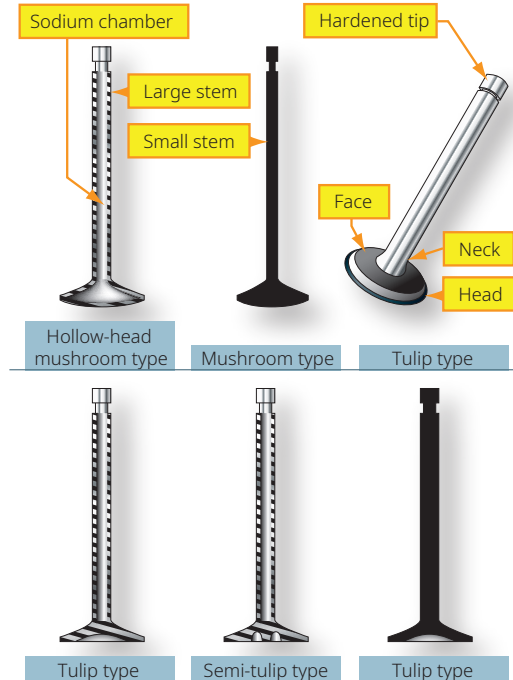


Gambar 2.24 Split Type Master Rod Assembly

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

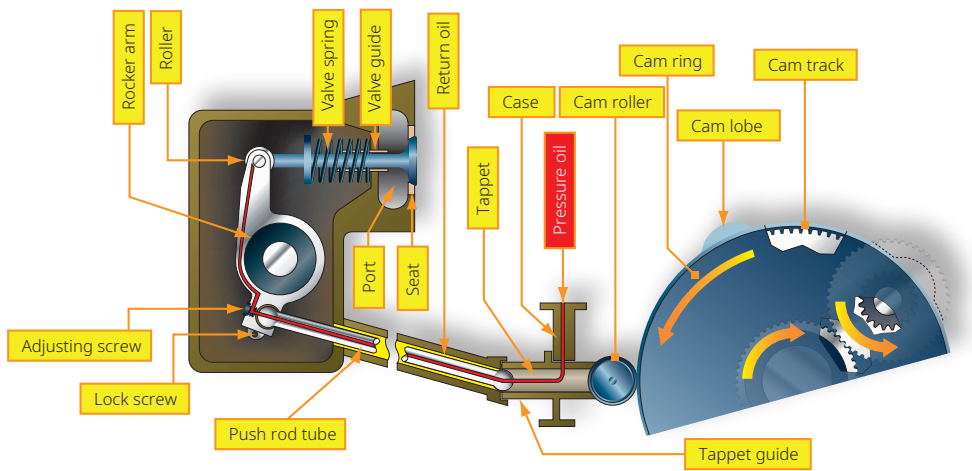
g. Valve (Katup)

Valve berfungsi mengatur jumlah cairan atau gas yang mengalir lewat suatu saluran. Valve pada silinder piston engine berguna untuk membuka dan menutup pintu-pintu pemasukan dan pengeluaran. Pada setiap kepala silinder, paling tidak harus ada satu katup pemasukan dan satu katup pengeluaran atau yang biasa disebut *intake valve & exhaust valve*.



Gambar 2.25 Macam-macam Tipe Katup/Valve

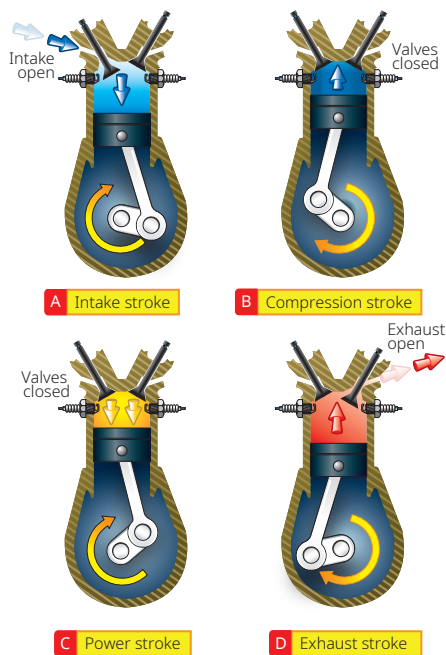
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)



Gambar 2.26 Mekanisme Cara Kerja Valve dengan Lobe-nya.

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

2. Sistem Mesin Piston



Gambar 2.27 Prinsip Kerja Piston 4 Langkah

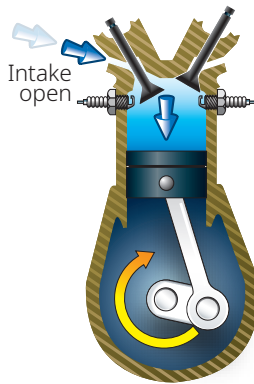
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Prinsip kerja *piston engine 4 stroke* dapat dilihat sesuai gambar di samping.

Langkah kerja piston engine 4 stroke terdiri dari empat tahapan, yaitu:

- a. Langkah Isap (*Intake Stroke*)
- b. Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)
- c. Langkah Kerja (*Power Stroke*)
- d. Langkah Pembuangan (*Exhaust Stroke*)

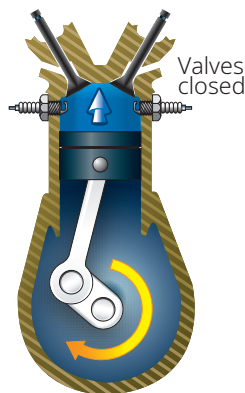
Setiap langkah kerja *piston engine* melakukan putaran total 72° untuk menghasilkan pembakaran. Berikut penjelasan secara rinci kerja *piston engine*.



Gambar 2.28 Posisi Isap
 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

1) Langkah Isap (*Intake Stroke*)

Pada langkah isap, volume di dalam silinder bertambah sedangkan tekanan turun. Posisi sudut *crankshaft* sekitar 45° saat piston bergerak ke bawah dari TMB, dan di posisi itu juga *intake valve open* dan posisi *exhaust valve* masih terbuka kemudian perlahan menutup. Kondisi tersebut bertujuan agar campuran bensin dan udara yang masuk menjadi lebih banyak sebagai pendingin dan sebagai pembersih bekas pembakaran.



Gambar 2.29 Posisi Kompresi
 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

2) Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

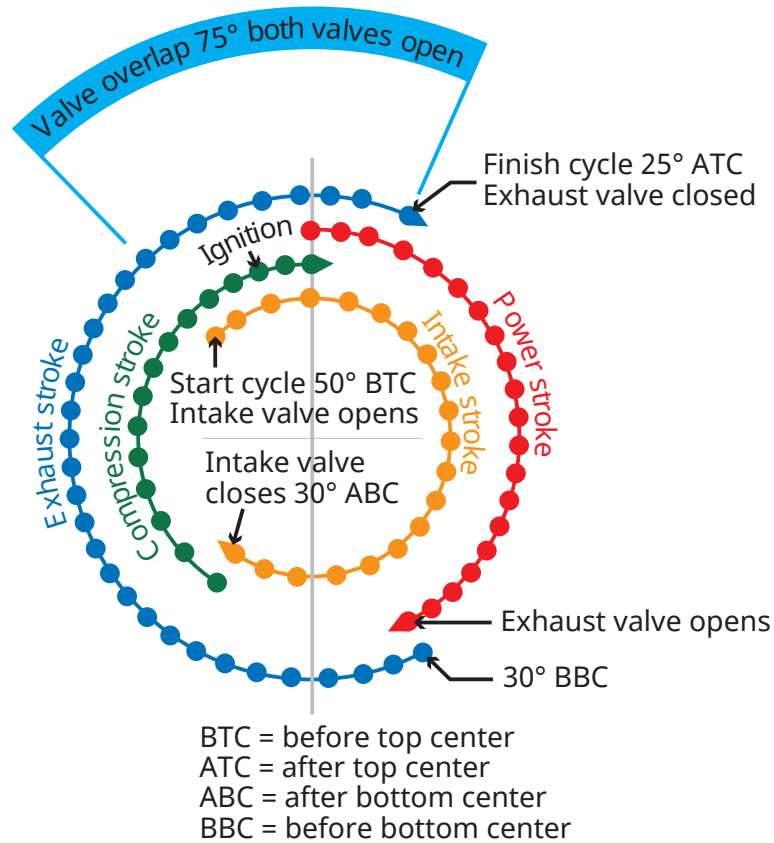
Pada langkah kompresi posisi sudut *crankshaft* berotasi sebesar 225° setelah *bottom center* terjadi peristiwa langkah kompresi. Saat langkah kompresi ini volume yang ada di dalam silinder mengalami kenaikan sedangkan *pressure*-nya menurun.

3) Proses Pembakaran (*Ignition Process*)

Tahapan pembakaran (*igniton process*) ini adalah suatu kondisi yang terjadi di antara langkah kompresi dan langkah *power*. *Igniton process* bukan termasuk 4 langkah kerja *piston engine*, melainkan peristiwa yang terjadi karena adanya pembakaran.

Pada saat proses pembakaran posisi *intake valve* maupun *exhaust valve* tertutup secara sempurna sehingga busi memercikkan api karena adanya temperatur dan tekanan yang sangat tinggi dari hasil kompresi sebelumnya.

One complete actual cycle of a four-stroke cycle reciprocating engine



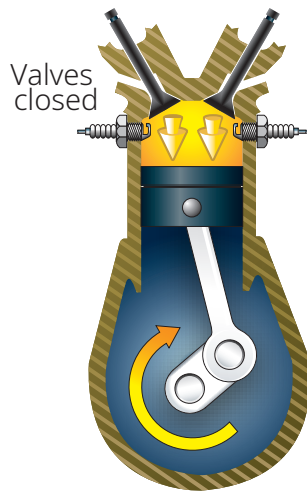
Gambar 2.30 Posisi Pembakaran (*Ignition Position*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Pada saat terjadi pembakaran, campuran udara dan fuel terbakar seluruhnya hingga menghasilkan dorongan yang besar ke piston. Dorongan inilah yang menyebabkan piston bergerak ke bawah. Saat proses pembakaran berlangsung, *intake valve* dan *exhaust valve* dalam posisi *close*.

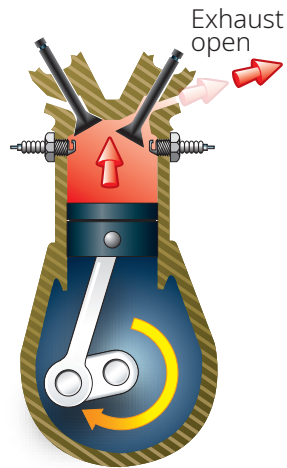
4) **Power Stroke**

Hasil ledakan yang sangat besar dari proses pembakaran menyebabkan piston terpental ke bawah sampai ke titik *BDC* (*Bottom Dead Center*). Momen torsi dari piston yang terbatas menyebabkan piston berbalik sampai ke atas bagian *TDC* (*Top Dead Center*). Di titik inilah piston menghasilkan tenaga yang besar (*power*).



Gambar 2.31 Power Position

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)



Gambar 2.32 Exhaust Position

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Langkah *power* ini membuat volume meningkat, tekanan dan temperatur juga masih cukup besar walaupun sebenarnya menurun. Saat langkah *power* berlangsung, *intake valve* dan *exhaust valve* dalam posisi *close*.

5) *Exhaust Stroke*

Exhaust stroke berada di posisi sudut *crankshaft* 30° sebelum *bottom center*. Posisi *exhaust stroke* terjadi setelah proses *power stroke* saat tenaga yang menghasilkan gaya dikeluarkan melalui jalur *exhaust valve*. Jadi, posisi *exhaust valve* saat itu terbuka, sementara *valve intake* tertutup. Setelah itu, *intake valve* akan membuka 50° sebelum *top center*.

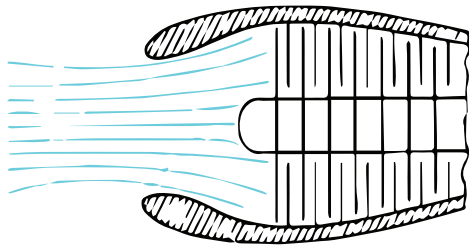
3. *Komponen Gas Turbine Engine*

Konstruksi GTE terdiri dari:

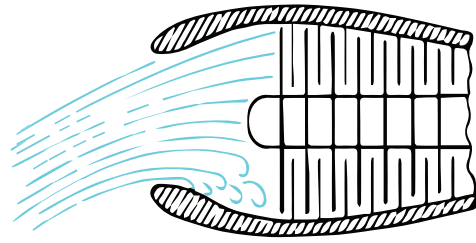
a. *Air Inlet*

Fungsi *air inlet entrance duct* yaitu mengarahkan aliran massa udara masuk ke dalam mesin (*compressor*).

Air inlet sangat menentukan aliran udara yang menuju ke kompresor. Aliran udara yang baik masuk ke dalam *air inlet* secara *laminar* (aliran udara yang beraturan) agar pada proses selanjutnya tidak terjadi penekanan udara yang menyebabkan rasio kompresi hilang.



(a) aliran udara normal



(b) aliran udara berantakan (turbulence) yang diakibatkan perubahan ketinggian terbang.

Gambar 2.33 *Divergent Inlet Duct*

b. Kompresor

Kompresor berfungsi mengisap massa udara sebanyak mungkin dan meningkatkan tekanan udara tersebut sampai titik tertentu. Selanjutnya, kompresor mengalirkan massa udara tersebut ke dalam ruang pembakaran melalui *diffuser* guna menurunkan kecepatan aliran udara agar tidak mengganggu nyala api.

Tipe *rotary compressor* yang umum digunakan:

1) *Centrifugal Flow Type Compressor*

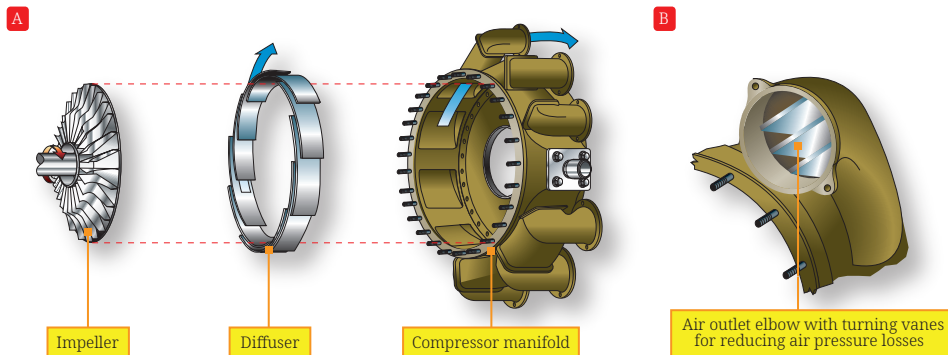
Prinsip kerja *Centrifugal Flow Compressor* berdasarkan gaya sentrifugal yang terjadi pada benda berputar (*impeller*).

Kompresor sentrifugal dibagi menjadi dua jenis, yaitu *single entry centrifugal* dan *double entry centrifugal*.

Centrifugal Compressor memiliki karakteristik sebagai berikut.

- a) Sempel dan kuat.
- b) Pembuatan dan perawatan relatif murah.
- c) Rasio kompresi per tingkat tinggi sampai dengan 4 - 8 : 1.
- d) Lebih tahan terhadap FOD.
- e) *Frontal area* besar sehingga daya hambat besar.
- f) Maksimum dua tingkat (*Interstage Pressure Loss* tinggi).
- g) Dibuat dari bahan aluminium *alloy forging (drop forged)* atau titanium *alloy forging*.
- h) Unit ringan.

- i) Beban starter ringan.
- j) Efisiensi tinggi, *tip speed* mencapai 1,3 Mach.



Gambar 2.34 Bagian *Compressor Centrifugal*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Bagian *Compressor Centrifugal*

a) *Impeller*

Komponen *impeller* biasa disebut sebagai pengisap karena berfungsi mengisap udara sebanyak-banyaknya dan mempercepat aliran udara melalui lubang *air inlet* di depannya.

b) *Diffuser*

Komponen ini berfungsi menurunkan kecepatan aliran massa udara agar tidak mengganggu nyala api di ruang pembakaran yang menyebabkan nyala api padam.

Berdasarkan hukum *Bernoulli* tentang aliran *subsonik*, dengan turunnya kecepatan aliran massa udara maka akan menaikkan tekanan statis udara tersebut. *Diffuser* juga dijadikan sebagai tempat dudukan mesin. Karena *diffuser* berada pada posisi titik berat mesin.

c) *Compressor manifold*

Komponen ini berfungsi mengarahkan aliran udara ke dalam lubang-lubang ruang pembakaran.

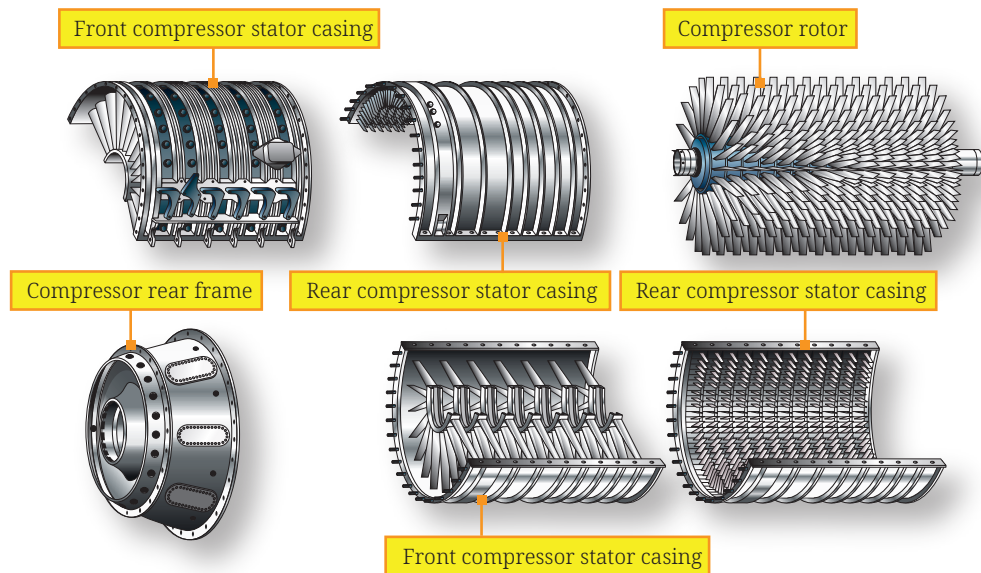
2) *Axial Flow Type Compressor*

Axial flow type compressor memampatkan udara berdasarkan prinsip aerodinamika secara bertahap setiap tingkatan.

Axial Flow Compressor memiliki karakteristik sebagai berikut.

- a) Bentuk sudu-sudu airfoil.
- b) Rasio Kompresi per tingkat rendah; 1,2 – 1,3 : 1
- c) Tidak kuat menahan FOD.
- d) Biaya pembuatan dan perawatan tinggi.
- e) Satu tingkat terdiri dari Rotor dan Stator. Rotor meningkatkan kecepatan aliran udara dan meningkatkan tekanan dinamik. Stator menurunkan kecepatan aliran udara dan meningkatkan tekanan statik.
- f) Sudu makin ke belakang makin pendek.
- g) Dapat terjadi *compressor stall*.
- h) Terbuat dari baja ringan/titanium.

Komponen utama dari *compressor axial* terdiri dari rotor dan stator. Rotor berputar di tempat *blade* terpasang ke *shaft*. Sedangkan Stator merupakan *blade* yang statis terpasang di *engine case*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.35 Bagian Utama *Compressor Axial Element Rotor dan Stator*

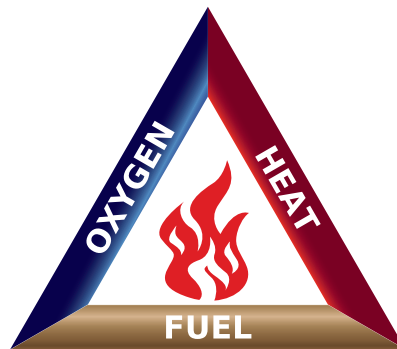
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Compressor Stall/Surging adalah tidak adanya kestabilan pada keseluruhan engine. Tekanan di ruang pembakaran turun dan kompresor

terus memberikan tekanan hingga normal kembali. Pada *starting engine*, *compressor surging* terjadi karena satu keadaan *compressor blade* mengalami kehilangan tekanan udara. Hal yang dapat dilakukan untuk mencegah *compressor stall/surging* adalah dengan melakukan pemeriksaan *variable air inlet/inlet guide vanes*, *bleed valve*, dan *acceleration control unit*.

c. *Combustion Chamber*

Combustion chamber (ruang pembakaran) adalah tempat terjadinya proses pembakaran. Udara yang dimampatkan dari kompresor masuk ke *combustion chamber* dan bercampur dengan bahan bakar yang dikabutkan dari *Noel* hingga terbakar dan menghasilkan gas bersuhu tinggi. Dengan kata lain, energi bahan bakar berubah menjadi energi panas yang dipindahkan ke udara dan gas. Sebagian besar dari energi ini dipakai oleh turbin untuk memutar kompresor. Ruang pembakaran merupakan tempat bertemunya segitiga api (*fire triangle*), yaitu udara yang mengandung oksigen O_2 (air), bahan bakar (*fuel*), dan panas bias berupa percikan listrik atau *spark*.



Gambar 2.36 Konsep Proses Pembakaran Segitiga Api

Berdasarkan konsep pembakaran di atas, dapat disimpulkan bahwa jika satu komponen tersebut hilang, proses pembakaran tidak akan pernah terjadi. Misalnya, jika bahan bakar dari tangki tidak mengalir dengan baik sesuai kebutuhan, tidak akan pernah terjadi suatu pembakaran. Begitu pun sebaliknya jika udara (O_2) tidak ada ataupun *system heat* tidak ada, tidak akan pernah ada proses pembakaran.

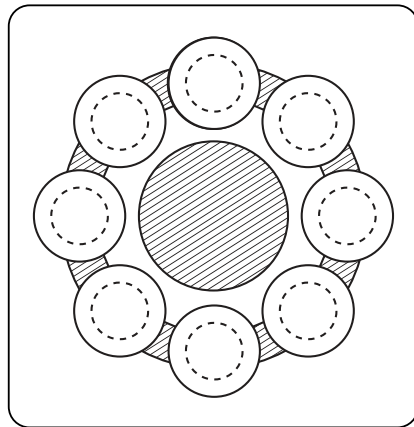
Suhu di bagian utama ruang bakar biasanya mencapai kurang lebih $3.500^{\circ}f$. Material logam pelindung tidak tahan di temperatur tinggi. Karena itulah, diperlukan pendinginan dengan menggunakan sebagian besar udara yang mengalir dari kompresor, yaitu sebanyak 75%, sedangkan 25%

udara digunakan untuk proses pembakaran. Sisa udara digunakan untuk mendinginkan temperatur agar logam pelindung tidak meleleh.

Area yang kedua adalah area pencampuran antara panas yang tinggi hasil pembakaran dengan udara pendingin yang dialirkan melalui lubang-lubang *combustion liners* dalam jumlah yang besar.

Ruang pembakaran (*combustion chamber*) digolongkan menjadi tiga tipe, yaitu:

1) *Can Type Combustion Chamber*



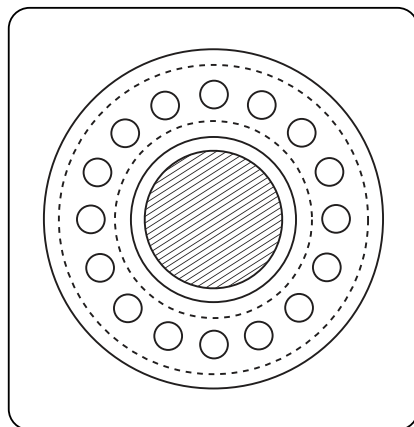
Sumber: aerospacenotes.com (2021)



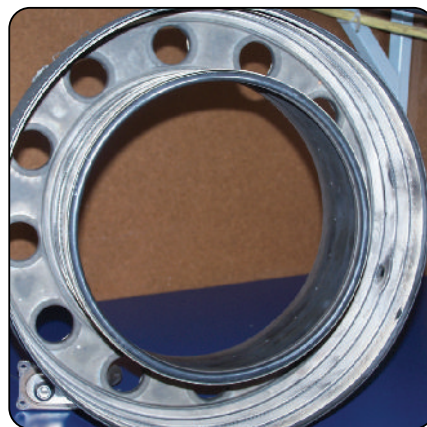
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Gambar 2.37 Can Combustion Chamber

2) *Annular Combustion Chamber*



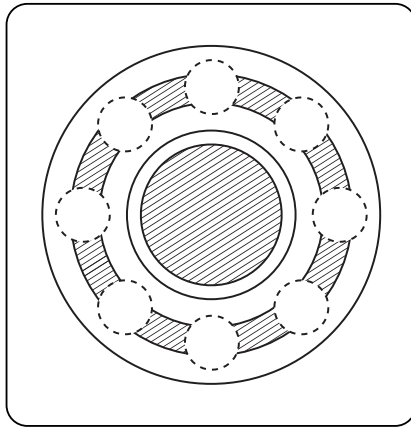
Sumber: aerospacenotes.com (2021)



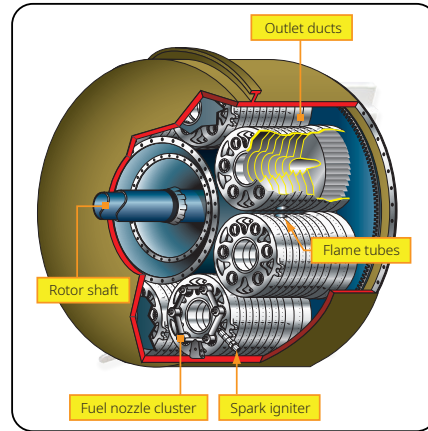
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Gambar 2.38 Combustion Chamber Jenis Annular

3) *Cannular Combustion Chamber*



Sumber: aerospacenotes.com (2021)



Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Gambar 2.39 *Cannular Combustion Chamber*

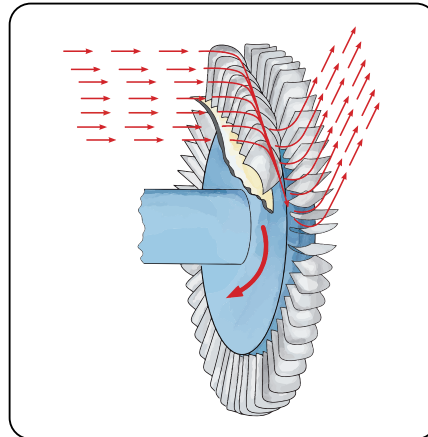
d. Turbin

Turbin berfungsi mengubah energi kinetik gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik berupa putaran poros untuk memutar kompresor dan *accessories gear box*, juga untuk memutar *reduction gear box* agar dapat memutar *propeller* di mesin *turboprop* atau memutar *rotor* helikopter di mesin *turboshaft*.



Gambar 2.40 Bentuk *Airfoil* Turbin

Sumber: Avotek information resource (2008)



Gambar 2.41 Aliran Udara di Komponen Turbin

Sumber: Avotek information resource (2008)

Turbin merupakan komponen yang paling terdampak panas dari hampasan ruang bakar. Oleh karena itu, komponen turbin ini harus

memiliki karakteristik yang tahan terhadap panas ribuan derajat celsius. Turbin terbuat dari *nickel base alloy* atau *cobaltbase alloy* yang bersifat tahan panas. Komponen ini juga difungsikan sebagai *mass moment inertia* (roda gila) untuk mempertahankan kelanjutan putaran.

Turbin berbentuk airfoil agar tercapai efisiensi dan aliran udara yang dihasilkan dapat memutar poros.

e. *Exhaust*

Exhaust adalah tempat atau saluran pembuangan gas panas dalam volume besar yang dihasilkan dari kerja turbin yang mengubah energi kinetik gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik. *Exhaust* akan menghasilkan tekanan balik yang kecil dan kehilangan aliran gesekan yang kecil pula. *Exhaust nozzle* membentuk cerobong gas buang menjadi bentuk *convergent (subsonic)* dan bentuk *covergent-divergent (supersonic)*, sebagai cerobong pancar gas sehingga diperoleh *momentum outlet* yang tinggi dan diperoleh gaya dorong atau *propulsive force* yang tinggi.

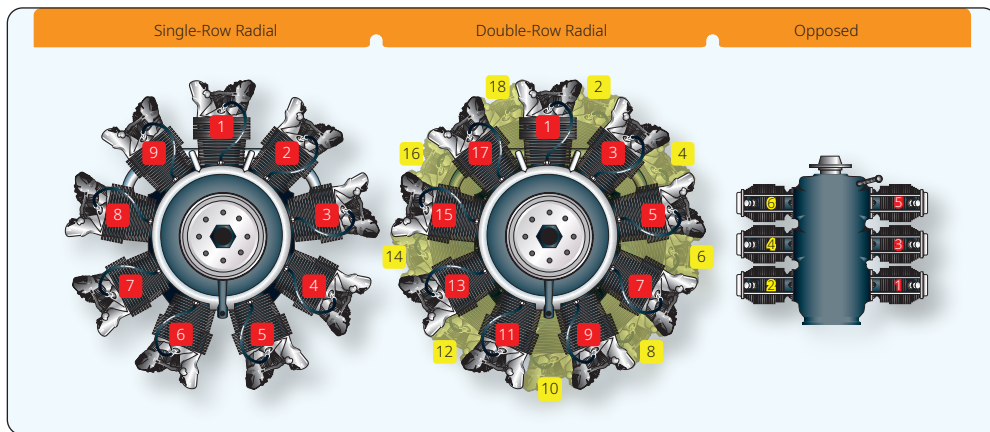
D. Operasional Mesin Piston

Operasional mesin piston akan berhubungan dengan sistem kerja mesin piston yang memiliki banyak silinder. Oleh karena itu, kita harus mengetahui *firing order* mesin piston tersebut. Di bawah ini akan dijelaskan model-model penempatan *firing order*.

2. *Firing Order*

Firing order engine adalah urutan saat peristiwa terjadinya *power* atau pembakaran di silinder yang berbeda. *Firing order* dirancang untuk memberikan keseimbangan dan menghilangkan getaran semaksimal mungkin. Di mesin *radial*, *firing order* harus mengikuti gerakan dari *crank* selama perputarannya.

Di mesin *inline*, *firing order* mungkin agak berbeda, namun sebagian besar *firing order* diatur sedemikian rupa sehingga *firing* dari silinder merata di sepanjang *crankshaft*. *Inline engine* yang mempunyai 6 silinder umumnya memiliki *firing order* 1-5-3-6-2-4. *Firing order* jenis *opposed engine* biasanya dapat dicantumkan secara berpasangan. Urutan *firing order* untuk *engine* enam silinder yang berlawanan adalah 1-4-5-2-3-6. Urutan *firing order* untuk model dengan jumlah empat silinder yang berlawanan adalah 1-4-2-3, tetapi ada juga yang menggunakan *firing order* 1-3-2-4.



Gambar 2.42 Numbering of Cylinder

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

3. Mesin Radial Single Row

Di mesin *radial single row*, *firing order* akan diawali oleh semua silinder bernomor ganjil secara berurutan; kemudian selanjutnya baru pada silinder bernomor genap secara berurutan. Dengan lima silinder mesin radial, misalnya, *firing order* 1-3-5-2-4, dan pada mesin radial tujuh silinder adalah 1-3-5-7-2-4-6. *Firing order* mesin radial sembilan silinder adalah 1-3-5-7-9-2-4-6-8.

4. Mesin Radial Double Row

Di mesin radial baris ganda atau *double row*, *firing order* sedikit lebih sulit. *Firing order* diatur dengan *firing impuls* yang terjadi dalam silinder yang diposisikan satu baris dan dilanjutkan silinder di baris lain. Oleh karena itu, dua silinder di baris yang sama tidak pernah menyala secara berurutan.

Metode mudah untuk menghitung *firing order* mesin 14 silinder adalah *double row radial* harus dimulai dengan silinder apapun angka dari 1 hingga 14, untuk silinder selanjutnya ditambahkan 9 atau kurangi 5 (ini disebut *firing order number*), mana saja yang memberikan jawaban antara 1 dan 14. Misalnya, dimulai dengan 8, 9 tidak boleh ditambahkan karena jawabannya akan lebih dari 14; karena itu, kurangi 5 dari 8 untuk mendapatkan 3, tambahkan 9 dengan 3 untuk mendapatkan 12, kurangi 5 dari 12 untuk mendapatkan 7, kurangi 5 dari 7 untuk mendapatkan 2, dan seterusnya.

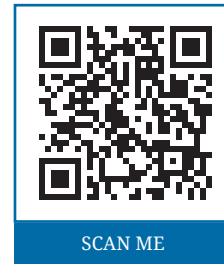
Firing order number dari *radial double row* dengan 18 silinder adalah 11 dan 7; mulailah dengan angka apa pun dari 1 hingga 18 dan tambahkan 11 atau

kurangi 7. Misalnya, dimulai dengan 1, tambahkan 11 untuk mendapatkan 12; 11 tidak dapat ditambahkan ke 12 karena total akan lebih dari 18, jadi kurangi 7 untuk mendapatkan 5, tambahkan 11 dengan 5 untuk mendapatkan 16, kurangi 7 dari 16 untuk mendapatkan 9, kurangi 7 dari 9 untuk mendapatkan 2, tambahkan 11 menjadi 2 untuk mendapatkan 13, dan lanjutkan proses ini sampai 18 silinder.



Aktivitas Pembelajaran

1. Tontonlah video tentang *piston engine* dengan memindai langsung *QR-code* di samping!
Setelah selesai menonton videonya, jawablah beberapa soal berikut!
 - a. Jelaskan perbedaan sistem pencampuran air+fuel antara karburator dengan sistem *injection*!
 - b. Pada video tersebut ada 4 silinder mesin piston. Jelaskan bagaimana bisa terjadi sistem kerja silinder 1, 2, 3, dan 4 yang bekerja tidak bersamaan baik saat *intake*, *compression*, *power* maupun *exhaust*!
 - c. Komponen apakah yang mengubah gerak dari *rocker arm* sehingga bergerak naik-turun secara translasi?
2. Buatlah kelompok bersama teman-temanmu, kemudian tontonlah video tentang perbedaan *Piston Engine* dan *Gas Turbine Engine* dengan memindai *QR-code* di samping ini, kemudian jawablah soal-soal di bawahnya!
 - a. Jelaskan tiga perbedaan antara *piston engine* dengan *turboprop engine*!
 - b. Apa yang menyebabkan pesawat udara dengan *gas turbine engine* dapat terbang lebih tinggi (10.000 ft-35.000 ft) dibandingkan pesawat bermesin piston?



SCAN ME



SCAN ME

- c. Jika diketahui suatu pesawat piston engine jenis “X” memiliki data *Bore*= 58mm dan *Stroke* = 47mm serta memiliki 6 silinder, berapa kapasitas silindernya?



Rangkuman

1. Berdasarkan posisi silinder terhadap *crankshaft*, *piston engine* terbagi dalam beberapa tipe, yaitu *Inline* (tipe satu garis), *V-Type* (tipe V), *Radial Type* (tipe radial), dan *Opposed Type* (tipe berlawanan).
2. Mesin yang termasuk GTE yaitu *turbojet engine*, *turboprop engine*, *turboshaft engine*, dan *turbofan engine*.
3. Langkah kerja piston engine 4 stroke terdiri dari empat tahapan, yaitu langkah isap (*intake stroke*), langkah kompresi (*compression stroke*), langkah kerja (*power stroke*), dan langkah pembuangan (*exhaust stroke*).
4. *Combustion chamber* (ruang pembakaran) adalah tempat terjadinya proses pembakaran. Udara yang dimampatkan dari kompresor masuk ke *combustion chamber* dan bercampur dengan bahan bakar yang dikabutkan dari *Noel* hingga terbakar dan menghasilkan gas bersuhu tinggi.

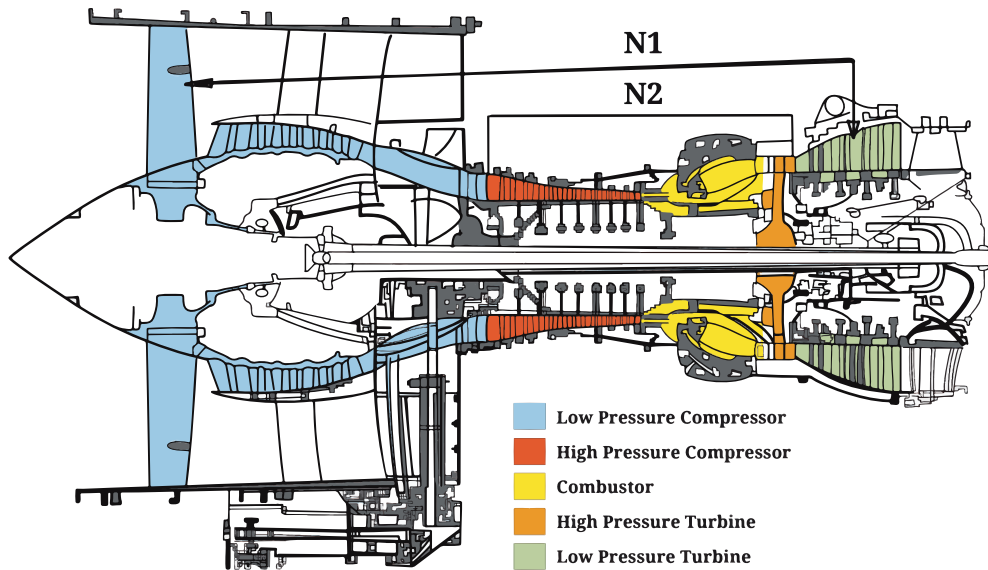


Tes Formatif

Kerjakanlah soal-soal berikut dengan memilih jawaban yang tepat!

1. *Firing order* untuk *opposed engine* dengan 6 silinder adalah
 - a. 1-4-5-2-3-6
 - b. 2-4-5-1-3-6.
 - c. 5-4-1-2-3-6.
 - d. 3-4-5-2-1-6.
 - e. 2-6-5-1-3-4.
2. *Inlet duct* yang terpasang sebelum kompresor, harus memiliki persyaratan sebagai berikut, kecuali
 - a. berat dan kuat
 - b. ringan dan kuat

- c. halus permukaannya
 - d. udara yang dihasilkan turbulen
 - e. tidak terjadi es (icing)
3. Perhatikan gambar berikut dengan teliti!



Shaft engine (N1) menghubungkan antara dengan ...

- a. Low pressure compressor ; high pressure turbine
 - b. *Low pressure compressor ; low pressure turbine*
 - c. *High pressure compressor ; high pressure turbine*
 - d. *High pressure compressor ; low pressure turbine*
 - e. *Low pressure compressor ; low pressure turbin*
4. Rasio Kompresi adalah perbandingan
- a. Volume silinder dengan volume udara yang masuk ke dalam *engine*
 - b. Volume ruang bakar dengan jumlah volume bahan bakar yang masuk ke dalam *engine*
 - c. Volume saat piston berada pada posisi BDC dengan volume saat piston berada pada posisi TDC

- d. Volume silinder dengan volume saat piston berada pada posisi BDC
 - e. Volume ruang bakar dengan volume saat piston berada pada posisi TDC
5. Suhu dan tekanan pada silinder yang terlalu tinggi saat proses pembakaran dapat mengakibatkan...
- a. *Detonation*
 - b. *Pre-igniton*
 - c. *Expansion*
 - d. *Spark igniton*
 - e. *Combustion*



Refleksi

Berilah tanda centang (✓) di materi yang telah kalian pahami!

- Memahami jenis mesin pesawat udara
- Memahami prinsip dasar dan jenis mesin piston
- Memahami komponen dan sistem mesin piston
- Memahami operasional mesin piston
- Memahami perhitungan kerja mesin piston

Jika ada materi yang belum kalian pahami, silakan diskusikan bersama temanmu yang sudah paham atau tanyakan kepada gurumu.



Pengayaan

Untuk menambah wawasan mengenai ruang lingkup Powerplant, kalian bisa menelusuri berbagai situs yang ada di internet, contohnya melalui melalui *QR-code* berikut ini.



SCAN ME

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
REPUBLIK INDONESIA, 2022

Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara
untuk SMK/MAK Kelas X Semester 2

Penulis: Maruli Tua, Asep Gunawan, Tri Susilo

ISBN: 978-602-244-983-6 (Jilid Lengkap)

978-602-244-984-3 (Jilid 2)

978-623-388-074-9 (PDF)

Bab 3

Aircraft Flight Control



Pesawat udara dapat melakukan gerakan menanjak, menukik, berputar, dan berbelok menggunakan sistem kendali seperti apa?



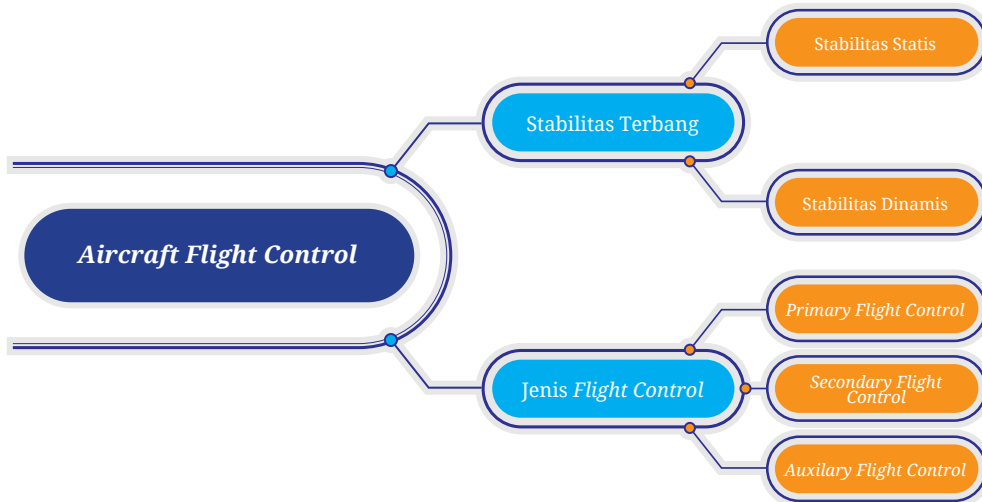
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami tentang kestabilan dan keseimbangan pesawat udara.
2. Memahami jenis bidang-bidang kendali terbang pesawat udara.
3. Memahami proses dan kinerja bidang-bidang kendali terbang pesawat udara.
4. Memahami bagaimana mekanisme gerakan-gerakan pesawat udara.
5. Memahami fenomena gerakan-gerakan lain yang timbul pada saat operasional terbang pesawat.



Peta Konsep



Kata Kunci

Flight control, defleksi, rudder, elevator, aileron pitching, yawing, rolling, static stability, dynamic stability, nose-up, nose-down, lateral axis, longitudinal axis, vertical axis, leading edge flap, leading edge slat and slot, trailing edge flap, trim tab, spoiler, flaperon, elevon, ruddervators.

Setelah kita mengetahui bagaimana suatu pesawat udara dapat terbang, pertanyaan berikutnya adalah bagaimana pesawat udara dikendalikan? Apa saja gerakan-gerakan pesawat saat di udara? Bagaimana gerakan menanjak, menukik, berputar, belok kiri, belok kanan dilakukan? Selain itu, apakah kalian tahu bahwa selama pesawat melakukan penerbangan akan mengalami gangguan gaya-gaya dari luar yang mempengaruhi kondisi kestabilan terbang pesawat tersebut? Bagaimana cara mengatasi gangguan-gangguan tersebut? Dengan bantuan apa pesawat udara dapat mempertahankan kestabilannya?

A. Stabilitas dan Kendali

Berdasarkan beberapa pertanyaan di atas, dapat dipahami bahwa pesawat udara sangat memerlukan keseimbangan dan kestabilan terbang, khususnya ketika mengalami gangguan gaya-gaya yang berasal dari luar.

Pesawat udara harus memiliki stabilitas (*stability*) yang baik agar tetap berada di sikap (*attitude*) dan jalur terbangnya (*flight track*), dan untuk mengembalikan pesawat ke kondisi normal dari berbagai gangguan gaya yang tidak diharapkan selama penerbangannya. Untuk mencapai performa terbang terbaik, pesawat harus memiliki respons yang tepat terhadap kendali gerakannya.

Sistem kendali terbang pesawat udara (*Aircraft Flight Control System*) berfungsi untuk mengatur sikap terbang pesawat selama di udara. *Flight control system* juga memungkinkan pesawat melakukan gerakan-gerakan (*movements*) ataupun akrobatik (*aerobatic*) di udara. Saat pesawat udara dapat dikendalikan, artinya pesawat udara memiliki respons yang mudah, cepat, dan tepat atas pengendalian gerakannya.

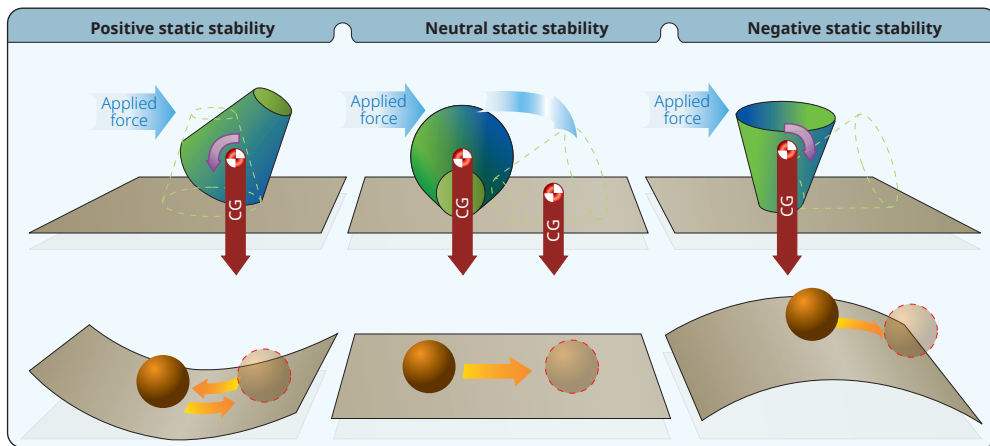
1. Stabilitas Statis

Pesawat udara berada dalam keseimbangan saat jumlah semua gaya yang bekerja di pesawat dan semua momennya nol, yaitu ketika tidak mengalami perubahan percepatan atau perlambatan. Dengan kata lain, pesawat udara terus terbang dalam kondisi kecepatan tetap. Aliran udara atau angin dan defleksi alat kendali dapat mengganggu keseimbangan terbang, sehingga otomatis pesawat juga mengalami perubahan kecepatan akibat ketidakseimbangan pada momen atau gaya.

Stabilitas statis (*static stability*) adalah ketika pesawat udara mengalami gangguan pergerakan atas jalur terbangnya, kemudian pesawat tersebut kembali ke posisi atau jalur terbang yang awal. Ada tiga jenis stabilitas statis yang ditentukan oleh karakter atau sifat gerakan yang mengikuti beberapa gangguan terhadap keseimbangan, yaitu:

- a. Stabilitas statis positif (*positive static stability*), terjadi jika suatu objek mengalami gangguan, tetapi memiliki kemampuan untuk kembali ke keseimbangan awalnya.
- b. Stabilitas statis negatif (*negative static stability*), terjadi ketika suatu objek mengalami gangguan, tetapi tidak memiliki kemampuan untuk kembali ke keseimbangan awalnya.
- c. Stabilitas statis netral (*neutral static stability*), terjadi jika suatu objek yang mengalami gangguan tidak memiliki kemampuan kembali ke keseimbangan awalnya dan tetap berada dalam keseimbangan terhadap gangguannya.

Berikut ilustrasi ketiga jenis stabilitas yang dimaksud:



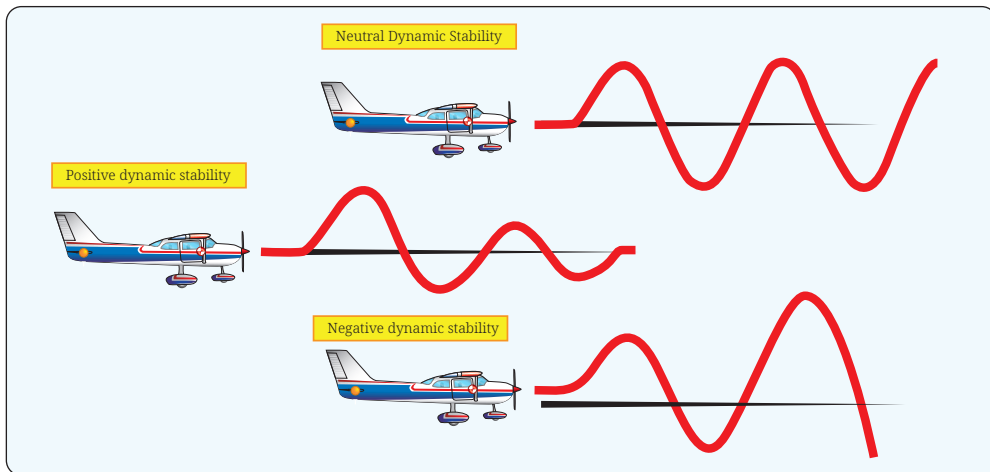
Gambar 3.1 Tiga Jenis Stabilitas Statis

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

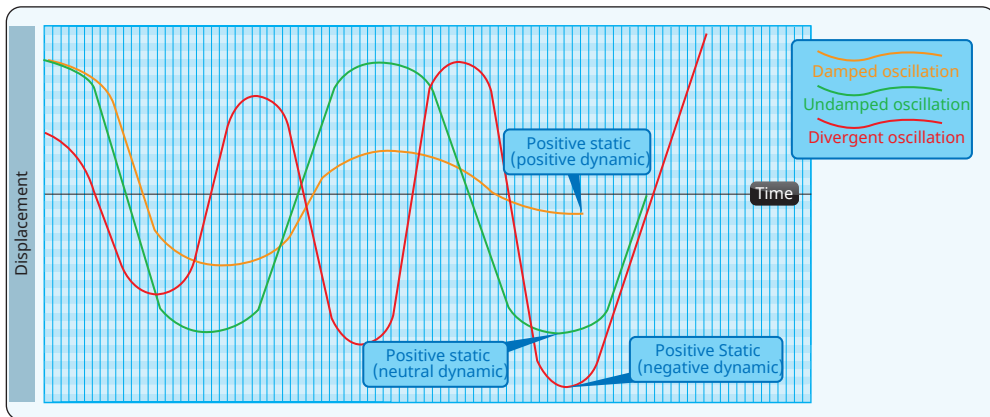
2. Stabilitas Dinamis

Stabilitas statis berkaitan dengan kecenderungan bergesernya suatu benda (*body*) untuk kembali ke keseimbangan, sementara stabilitas dinamis berkaitan dengan gerakan yang dihasilkan terhadap satuan waktu. Jika suatu benda terganggu keseimbangannya, rekam jejak waktu dari gerakan yang dihasilkan akan menentukan stabilitas dinamik objek tersebut. Secara umum, sebuah benda menunjukkan stabilitas dinamik positif (*positive dynamic stability*) apabila amplitudo gerakannya berkurang terhadap waktu. Namun, jika amplitudo gerakannya meningkat terhadap waktu, objek dikatakan memiliki dinamika ketidakstabilan atau stabilitas dinamik negatif (*negative dynamic stability*).

Setiap pesawat udara harus menunjukkan tingkat derajat stabilitas statis dan dinamis yang diperlukan. Apabila sebuah pesawat udara dirancang dengan tingkat ketidakstabilan statik dan dinamik yang cepat, pesawat akan sangat sulit untuk terbang. Stabilitas dinamik diperlukan pesawat udara untuk mencegah osilasi (goyangan) lanjutan pesawat yang tidak diharapkan.



Gambar 3.2 Tiga Jenis Stabilitas Dinamik
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



Gambar 3.3 Tiga Jenis Stabilitas Statik dan Dinamik
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/ FAA (2016)

B. Prinsip Dasar *Flight Control*

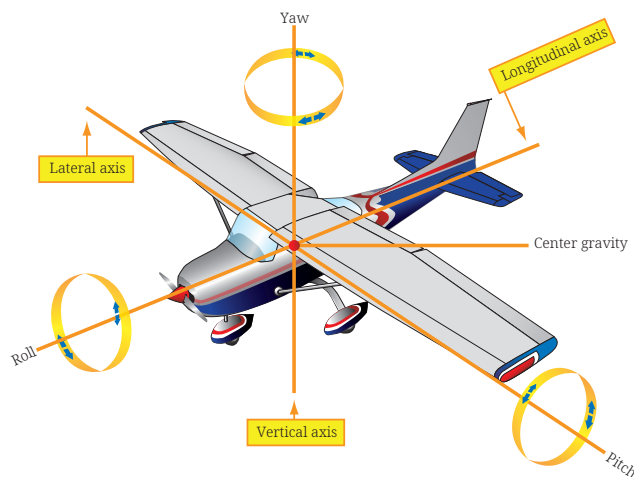
Sebelum kita mempelajari *flight control* dan gerakan-gerakan terbang pesawat udara lebih rinci, perlu diketahui bahwa pesawat udara memiliki tiga sumbu imajiner (*aircraft three axis*), yaitu:

1. Sumbu memanjang (*longitudinal axis*), merupakan garis sumbu pesawat yang lurus memanjang dari hidung (*nose*) hingga ekor (*tail*), melalui titik pusat berat (*center of gravity*).
2. Sumbu melintang (*lateral axis*), merupakan sumbu pesawat yang lurus melintang terhadap kedua ujung sayap (*wing tip*), melalui titik pusat berat (*center of gravity*).

3. Sumbu tegak (*vertical axis*), merupakan sumbu pesawat yang tegak di titik pertemuan kedua sumbu sebelumnya (*longitudinal axis* dan *lateral axis*).

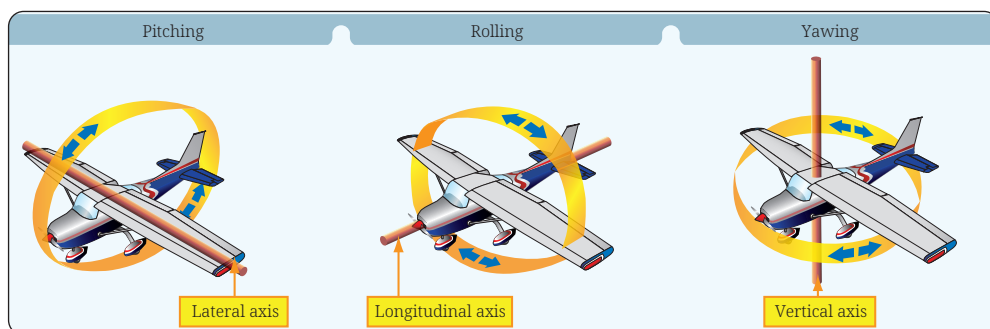
Berdasarkan *aircraft three axis* tersebut, selanjutnya dikenal pula tiga gerakan pesawat (*aircraft three movements*), yaitu:

1. Gerakan guling (*rolling movement*), merupakan gerakan pesawat yang memutar terhadap *longitudinal axis*.
2. Gerakan angguk (*pitching movement*), merupakan gerakan pesawat yang memutar terhadap *lateral axis*.
3. Gerakan menyimpang, (*yawing movement*) merupakan gerakan pesawat yang memutar terhadap *vertical axis*.



Gambar 3.4 Aircraft Three Axis

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



Gambar 3.5 Aircraft Movements

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/ FAA (2016)

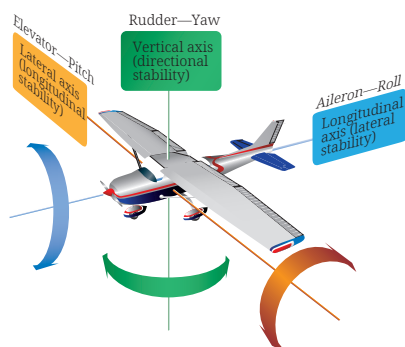
a. Stabilitas Memanjang

Pesawat udara harus memiliki kecenderungan stabil demi menjaga sikap atau sudut serang konstan terhadap sumbu memanjangnya (*longitudinal axis*). Kestabilan terbang pesawat ini menjaga agar posisi hidung pesawat (*aircraft nose*) tidak cenderung ke bawah ataupun ke atas. Kondisi tersebut artinya pesawat memiliki stabilitas memanjang (*longitudinal stability*) yang baik. *Longitudinal stability* mengacu ke gerakan dalam *pitch*, dan bidang kendali utama yang mengontrol stabilitas memanjang di sini adalah *horizontal stabilizer*.

b. Stabilitas Arah

Sebuah pesawat udara yang memiliki stabilitas yang baik terhadap sumbu vertikal (*vertical axis*) disebut sebagai pesawat dengan kestabilan arah (*directional stability*). Pesawat udara harus dirancang sedemikian rupa agar dalam penerbangannya lurus dan mendarat pada jalurnya. Jika pesawat dapat kembali ke kondisi semula secara otomatis dari gangguan arah terbang yang tidak diinginkan, artinya keseimbangan arah pesawat telah dirancang dengan baik. Dalam hal ini, bidang kendali utama yang bekerja mengontrol stabilitas arah adalah *vertical stabilizer*. Stabilitas arah yang baik dimiliki oleh pesawat udara yang menggunakan *dorsal fin* besar, badan pesawat yang panjang (*long body*), dan *sweptback wings*.

c. Stabilitas Melintang



Stabilitas melintang (*lateral stability*) adalah kestabilan pesawat terhadap sumbu melintang (*lateral axis*). Kestabilan pada sikap terbang tidak miring ke kiri ataupun ke kanan, atau seketika kembali pada stabilitas normal begitu terjadi gangguan, maka dikatakan bahwa pesawat udara tersebut memiliki *lateral stability* yang baik.

| Primary Control Surface | Airplane Movement | Axes of Rotation | Type of Stability |
|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Aileron | Roll | Longitudinal | Lateral |
| Elevator/Stabilator | Pitch | Lateral | Longitudinal |
| Rudder | Yaw | Vertical | Directional |

Gambar 3.6 Tiga Sumbu Pesawat dan Kestabilannya

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/ FAA (2016)

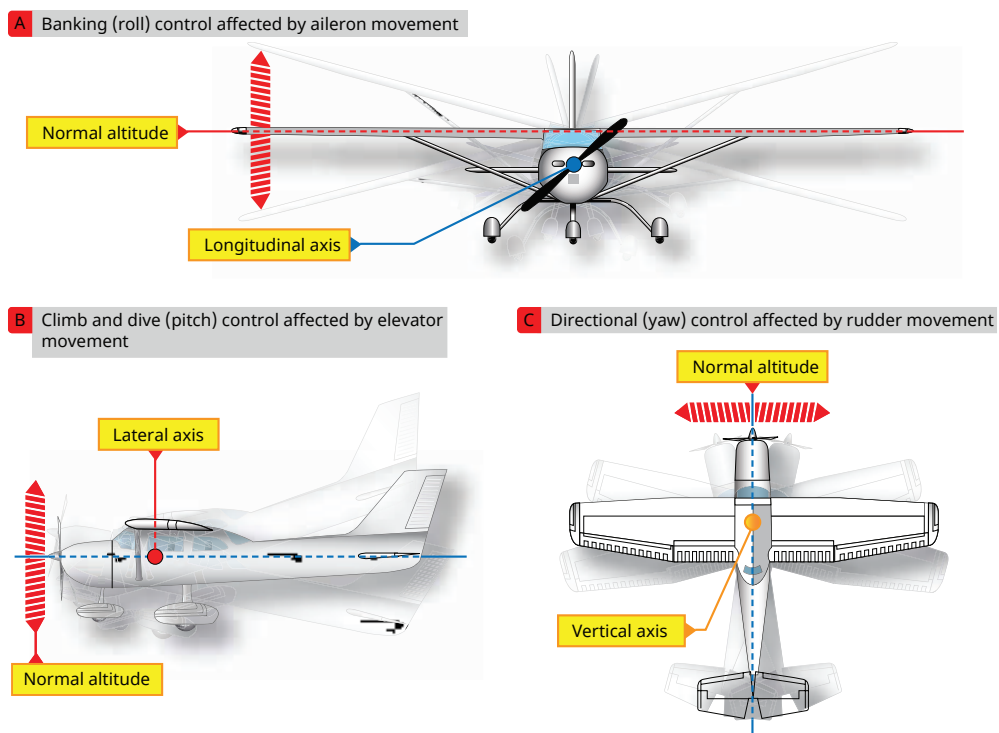
C. Bidang-Bidang Kendali Terbang

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan di awal bab ini tentang bagaimana pesawat melakukan manuver di udara, sekarang kita akan membahas bidang-bidang kendali terbang yang membantu pesawat berbelok, menikuk, menanjak, berputar, dan gerakan lainnya.

Bidang-bidang kendali terbang (*flight control surfaces*) terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu bidang kendali terbang utama (*primary flight control surfaces*), bidang kendali terbang sekunder (*secondary flight control surfaces*), dan bidang kendali terbang tambahan (*auxiliary flight control surfaces*).

1. Bidang Kendali Utama (*Primary Flight Control Surfaces*)

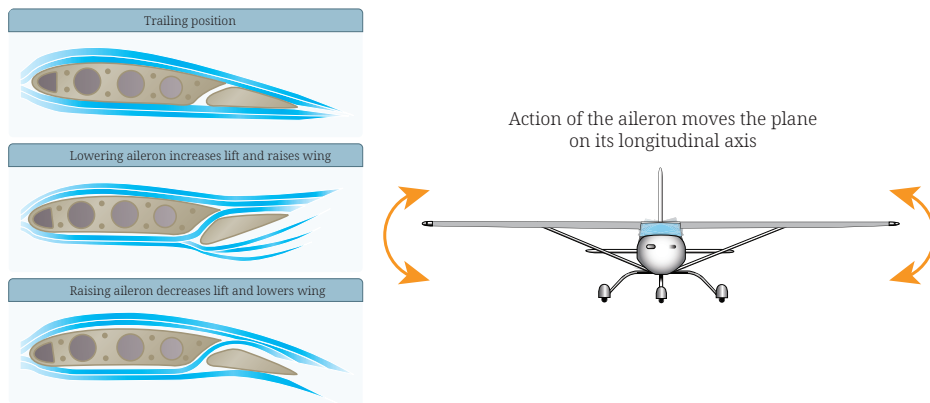
Bidang kendali utama (*Primary Flight Control Surfaces*) pesawat udara ada tiga jenis, yaitu *aileron*, *elevator*, dan *rudder* yang masing-masing memiliki bentuk, gerakan, dan fungsi tersendiri.



Gambar 3.7 Gerakan Pesawat dengan *Primary Flight Control*

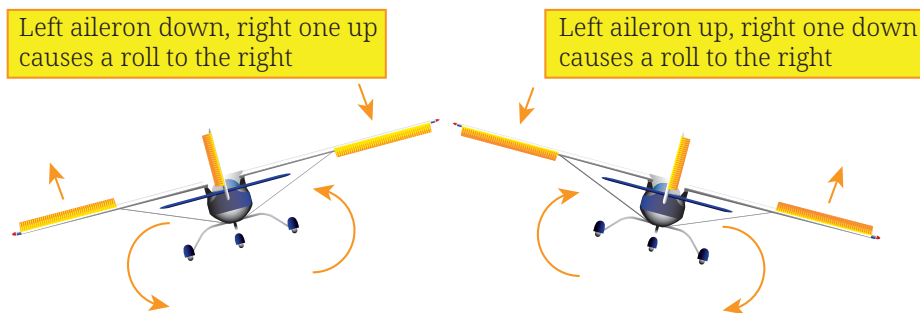
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-Airframe, Volume 1/FAA (2012)

- a. *Aileron* berfungsi memungkinkan pesawat udara melakukan gerakan memutar (*rolling*) terhadap *longitudinal axis* (Lihat Gambar 3.8A). Gambar 3.8B mengilustrasikan perbedaan gerakan antara aileron kanan dan kiri menyebabkan pesawat *rolling* ke arah yang berbeda.



Gambar 3.8 A Aileron dan Gerakan *Rolling*

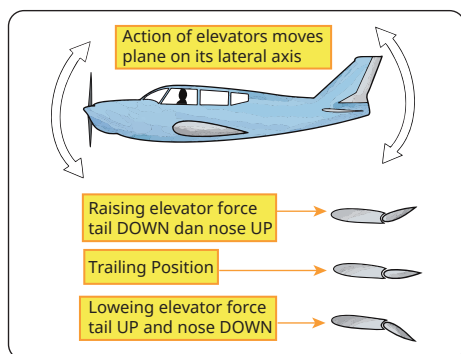
Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



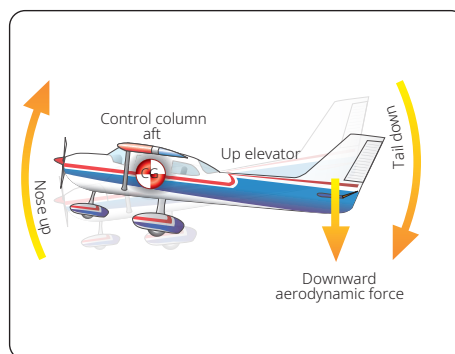
Gambar 3.8 B Aileron dan Gerakan *Rolling*

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

- b. *Elevator* merupakan sebuah bidang kemudi yang dipasang pada *horizontal stabilizer* dengan perantara engsel (*hinge*), yang berfungsi memungkinkan pesawat udara melakukan gerakan mengangguk (*pitching*) atau memutar terhadap *lateral axis*. Ketika *elevator* bergerak ke arah atas, akibat vektor gayanya, ekor pesawat (*aircraft tail*) akan bergerak ke arah bawah atau hidung pesawat bergerak ke atas (*nose-up*). Dengan kata lain, pada kondisi tersebut pesawat melakukan gerakan *pitching-up*, begitu juga untuk gerakan sebaliknya.

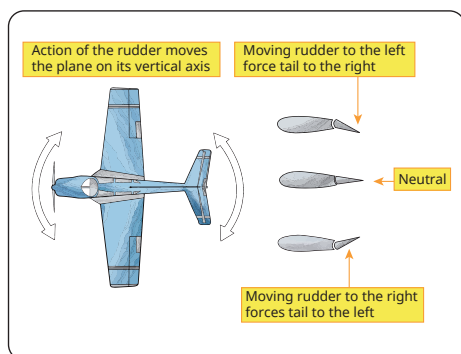


Gambar 3.9 A Elevator dan Gerakan Pitching
 Sumber: learntoflyblog.com (2014)

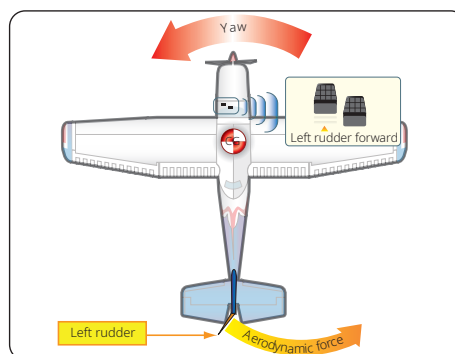


Gambar 3.9 B Elevator dan Gerakan Pitching
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge /FAA (2016)

- c. **Rudder** merupakan bidang kendali yang memungkinkan pesawat udara melakukan gerakan menyimpang (*yawing*) terhadap *vertical axis*. **Rudder** terpasang pada *trailing edge* dari *vertical stabilizer*. Ketika **rudder** bergerak ke arah kiri, akibat vektor gayanya, ekor pesawat (*aircraft tail*) akan bergerak ke arah kanan atau hidung pesawat bergerak ke kiri (*nose-left*). Dengan kata lain, pada kondisi tersebut pesawat melakukan gerakan *yawing-left*, begitu juga sebaliknya.



Gambar 3.10 A Rudder dan Gerakan Yawing
 Sumber: learntoflyblog.com (2014)



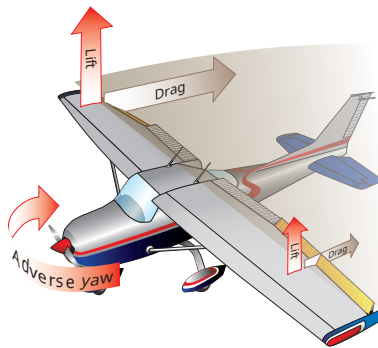
Gambar 3.10 B Defleksi Rudder dan Gerakan Yawing
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

Setelah mempelajari bidang kendali dan gerakan yang dihasilkan, penting juga memahami fenomena gerakan-gerakan lain yang sering terjadi saat pesawat sedang terbang, yaitu:

- a. **Adverse Yaw** merupakan suatu fenomena ketika salah satu *aileron* yang digerakkan ke bawah akan menghasilkan gaya angkat (*lift*) lebih besar, namun pada posisi sayap tersebut menghasilkan gaya hambat (*drag*) yang lebih besar pula. Adanya *drag* yang besar tersebut menyebabkan sayap cenderung sedikit terhambat dan melambat, sehingga mengakibatkan

pesawat cenderung bergerak ke arah sayap yang mengalami peningkatan *lift* dan *drag* tersebut.

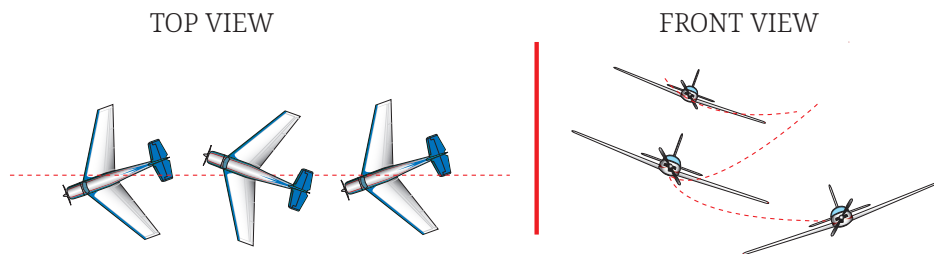
Dari perspektif *pilot*, *yaw* berlawanan dengan arah *bank*. *Adverse yaw* terjadi karena adanya perbedaan *drag* dan kecepatan antara sayap kiri dan kanan. *Adverse yaw* menjadi lebih terasa pada kecepatan udara yang rendah, saat tekanan aerodinamik di permukaan kontrol rendah dan *input* kontrol yang lebih besar diperlukan untuk menggerakkan pesawat secara efektif. Akibatnya, peningkatan defleksi *aileron* menyebabkan peningkatan *yaw* yang akan merugikan. *Adverse yaw* ini akan terasa sekali pada pesawat dengan bentang sayap yang panjang.



Gambar 3.11 Gerakan *Adverse Yaw*

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

- b. ***Dutch Roll*** merupakan gerakan pesawat yang terdiri dari kombinasi fase *yaw* dan *roll*. Stabilitas *dutch roll* dapat ditingkatkan secara artifisial dengan pemasangan peredam *yaw*.

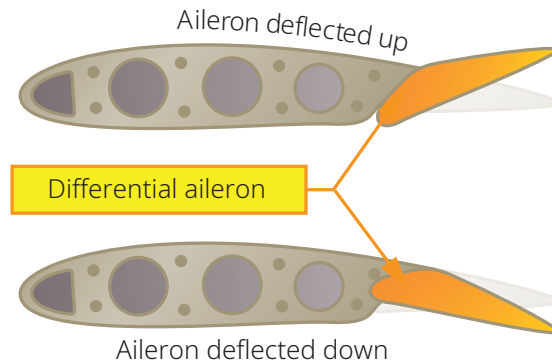


Gambar 3.12 Gerakan *Dutch Roll*

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

- c. ***Differential Ailerons*** terjadi apabila salah satu *aileron* digerakkan ke atas dengan defleksi yang lebih besar dari *aileron* yang bergerak ke bawah, dengan gerakan tertentu dari roda kendali. Kondisi tersebut menghasilkan

peningkatan tarikan atau hambatan di sayap yang turun. Hasil tarikan atau hambatan yang lebih besar dari defleksi *aileron* atas (pada sayap turun) ke sudut yang lebih besar daripada *aileron* bawah (pada sayap naik) sehingga *yaw* yang merugikan dapat dikurangi dan tidak dihilangkan sama sekali.



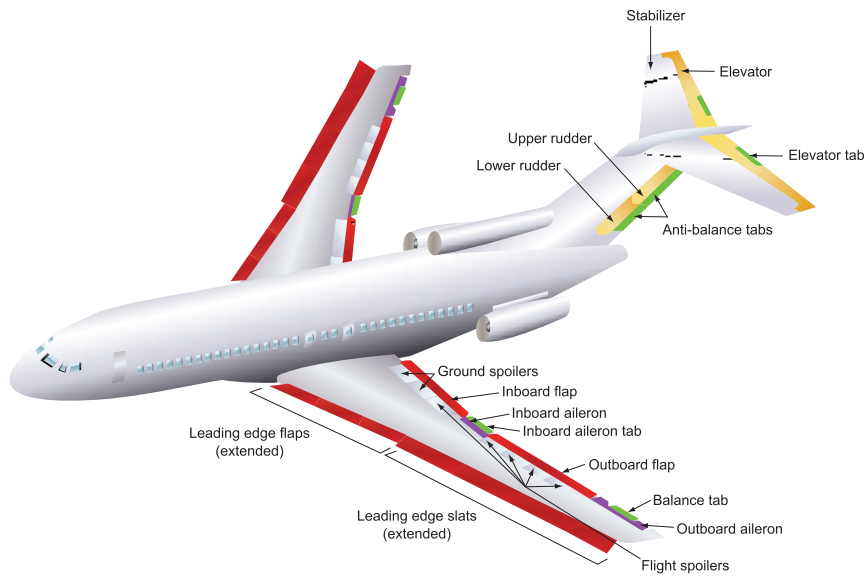
Gambar 3.13 Gerakan *Differential Aileron*
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

2. Bidang Kendali Sekunder (*Secondary Flight Control Surfaces*)

Secondary Flight Control Surfaces berfungsi meningkatkan gaya angkat (*lift*) dan/atau gaya hambat induksi (*induced drag*). *Secondary Flight Control Surfaces* terdiri dari beberapa bidang kemudi, yaitu *leading edge flap*, *leading edge slot and slot*, *trailing edge flap*, *trim tab*, *spoiler*, *flaperon (flap and aileron)*, *elevon (elevator and aileron)*, dan *ruddervators (rudder and elevator)*.

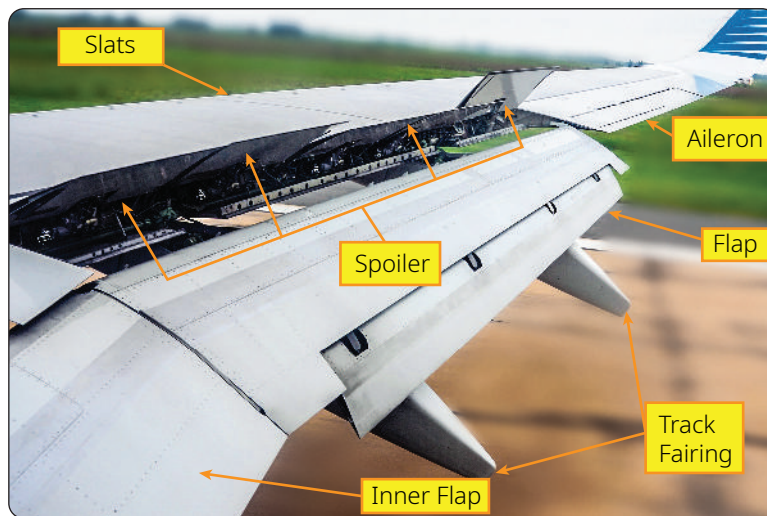
- a. **Leading Edge Flap** dan **Trailing Edge Flap** termasuk kategori perangkat peningkat gaya angkat tinggi (*high lift devices*). *Leading edge flap* adalah bidang *flap* yang terletak di bagian depan sayap (*wing leading edge*), sedangkan *trailing edge flap* adalah bidang *flap* yang terletak di bagian belakang sayap (*wing trailing edge*). *Leading edge flap* dan *trailing edge flap* berfungsi meningkatkan *lift* dan/atau *induced drag* untuk setiap sudut serang (*Angle of Attack - AoA*) tertentu.

Leading edge slot termasuk bidang kemudi *leading edge flap*, namun umumnya *slot* diperuntukkan bidang kemudi *leading edge flap* di area sisi dalam dekat dengan fairing atau sambungan antara *fuselage* dan *wing*. Cara kerja dan fungsi *leading edge slot* sama seperti *leading edge flap*.



Gambar 3.14 A Ilustrasi Letak *Secondary Flight Control* Pesawat Boeing B727

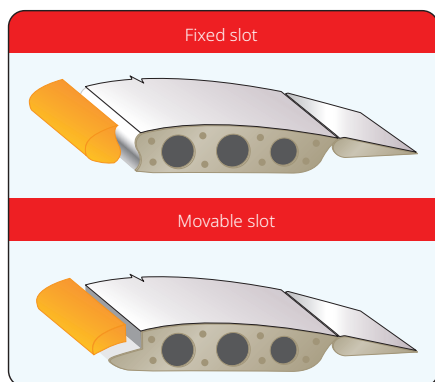
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)



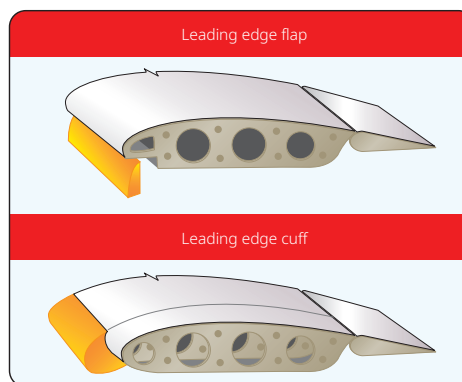
Gambar 3.14 B *Secondary flight Control* Pesawat Boeing B737

Sumber: commons.wikimedia.org/Nicolasrnphoto (2017)

- b. **Slot** atau **Slotted** adalah celah di antara *wing* dan *flap* (baik pada *leading edge flap* dan *trailing edge flap*) yang berfungsi memberikan ruang untuk mengalirnya udara dari permukaan bawah sayap ke permukaan atas sayap, sekaligus menunda pemisahan aliran udara (*air separation*) pada *angle of attack* besar. *Slot* tidak meningkatkan *camber* sayap, namun memungkinkan koefisien gaya angkat yang lebih tinggi hingga sayap mencapai *angle of attack* yang lebih besar.

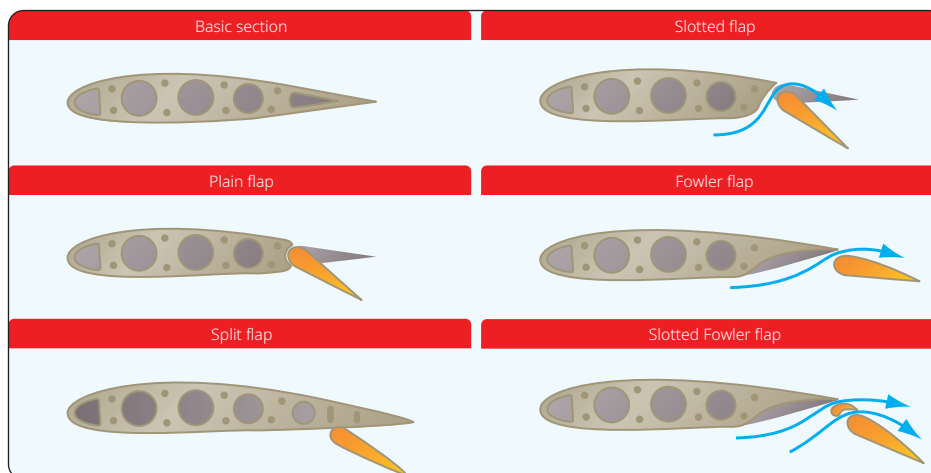


Gambar 3.15 A Jenis-jenis *Slot*
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/
 FAA (2016)



Gambar 3.15 B Jenis-jenis *Leading Edge*
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/
 FAA (2016)

Jenis lain ada yang memiliki *slots* permanen di *leading edge* sayap, saat kecepatan jelajah *trailing edge flaps* dan *leading edge flaps (slots)* ditarik kembali ke sayap. *Slats* adalah bidang kendali bergerak yang dipasang pada *leading edges* sayap. Saat *slat* ditutup, akan membentuk *leading edge* dari sayap. Saat posisi terbuka, *slot* terbentuk antara *slat* dan *leading edge* sayap. Pada kecepatan rendah, kondisi tersebut dapat meningkatkan gaya angkat dan meningkatkan karakteristik pengendalian sehingga memungkinkan pesawat dikendalikan saat kecepatan pendaratan normal.

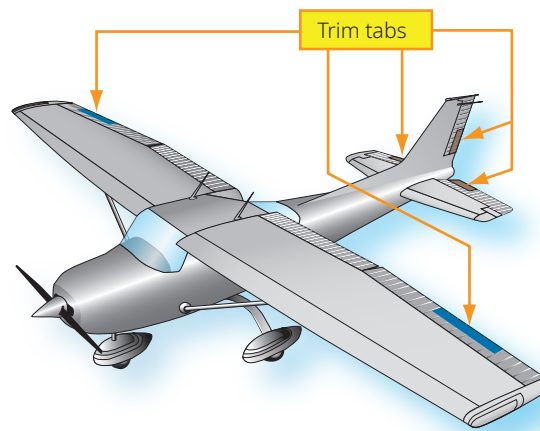


Gambar 3.16 Jenis-jenis *Trailing Edge Flap* dan *Slotted*
 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

- c. **Trimtabs** adalah bidang kendali yang umumnya terdapat di bagian belakang *primary flight control surfaces (aileron, elevator, dan rudder)*. *Trimtabs* berfungsi membantu dan/atau meringankan operasional

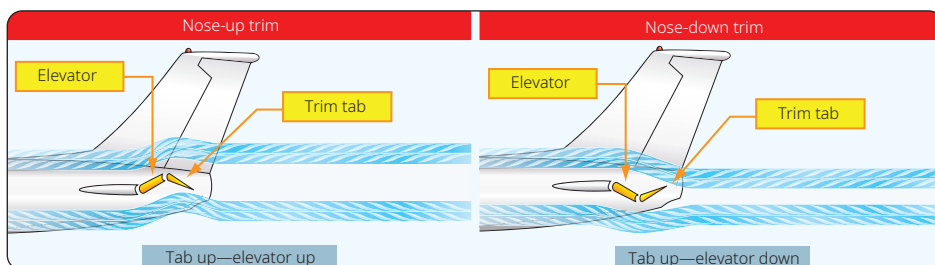
primary flight control surfaces, dengan gerakan yang berlawanan dari gerakan *primary flight control surfaces*.

Saat *elevator* digerakkan ke bawah, *trimstabs* cenderung terdorong ke atas akibat adanya aliran udara di bagian bawah *horizontal stabilizer* yang mendorongnya. Pada kondisi tersebut *trimstabs* (dengan gerakan yang berlawanan) akan mempertahankan posisi *elevator* tetap ke bawah, karena *trimstabs* tersebut menerima dorongan aliran udara di bagian atas *horizontal stabilizer*, dan begitu pun sebaliknya. Fungsi dan operasional tersebut berlaku juga untuk *trimstabs* yang terdapat di bidang kemudi *aileron* dan *rudder*.



Gambar 3.17 A Letak Bidang Kemudi *Trimstabs*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)



Gambar 3.17 B Bidang Kemudi *Trimstabs*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

- d. **Spoiler** adalah bidang kendali terbang yang berfungsi mengurangi *lift* dan juga meningkatkan *drag*, dengan cara merusak aliran udara yang melewati bagian atas sayap. Di pesawat berbadan besar (*wide body*), *spoiler* sering digunakan untuk mengontrol gerakan *rolling*, dengan keuntungan

menghilangkan *yaw* yang merugikan. Untuk berbelok ke kanan misalnya, *spoiler* di sayap kanan dinaikkan sehingga akan merusak sebagian *lift* dan menciptakan *drag* di sayap sebelah kanan, sehingga sayap kanan jatuh dan pesawat akan miring ke kanan, begitu pun sebaliknya.



Gambar 3.18 Bidang Kemudi *Spoiler*

Sumber: wikipedia.org/Jg4817 (2011)

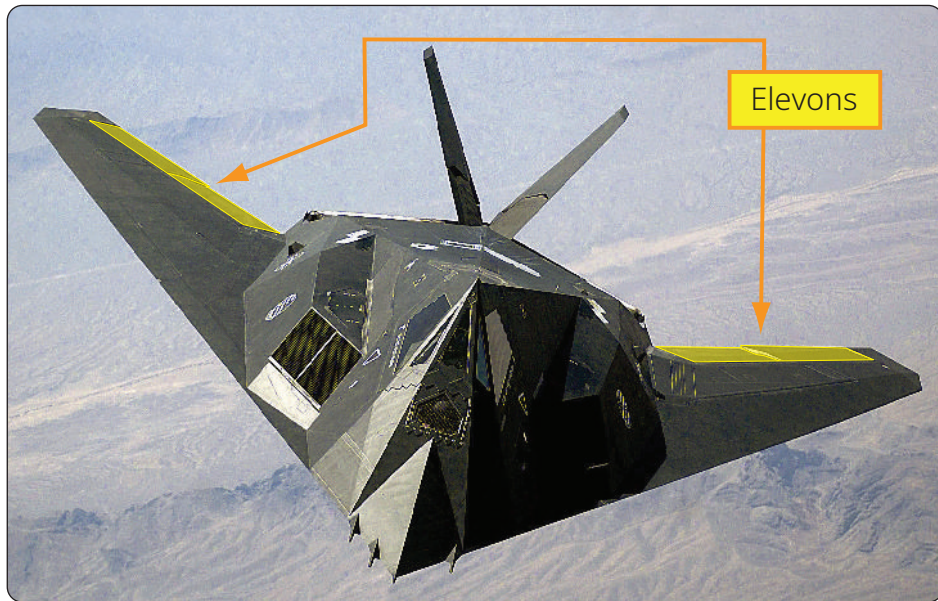
- e. **Flaperon** adalah penggabungan dari kedua bidang kemudi *flap* dan *aileron*. Pada dasarnya *flaperon* berfungsi sama halnya *flap* dan *aileron*, yang dapat memberikan peningkatan *lift* ketika *flaperon* diturunkan bersama-sama (pada sisi kiri dan kanan) dan mengontrol gerakan *rolling* ketika *flaperon* digerakkan secara terpisah (sisi kiri dan kanan).



Gambar 3.19 Bidang Kemudi *Flaperon*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

- f. **Elevons** adalah bidang kendali terbang pesawat yang menggabungkan fungsi *elevator* dan *aileron*. Bidang kendali ini sering digunakan di pesawat tak berekor seperti sayap terbang.



Gambar 3.20 Bidang Kemudi *Elevons*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

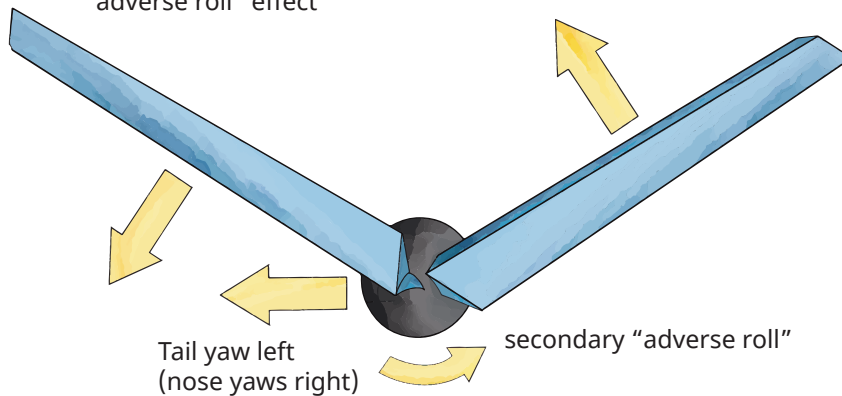
- g. **Ruddervator** adalah bidang kendali terbang pesawat yang menggabungkan fungsi *rudder* dan *elevator*.



Gambar 3.21 A Bidang Kemudi *Ruddervators*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

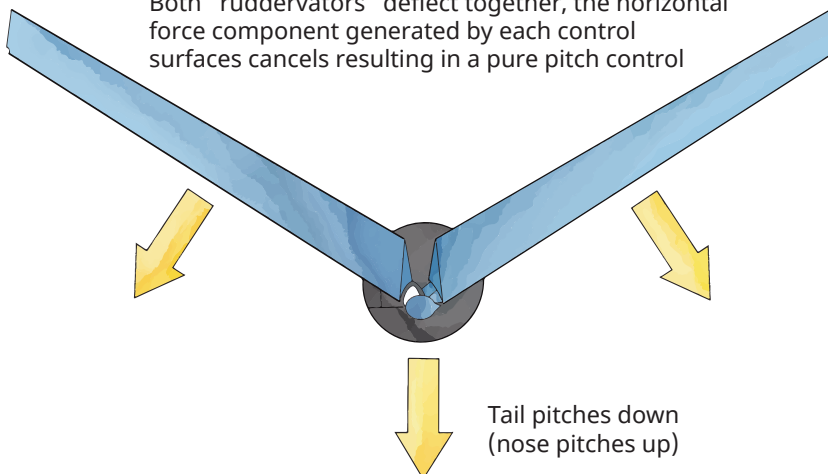
Rudder Control:
The two ruddervators deflect in opposite directions, the vertical force component generated by each control surface cancels giving yaw control, but with a secondary "adverse roll" effect



Gambar 3.21 B Kontrol Rudder di Bidang Kemudi Ruddervators

Sumber: ultralightdesign.wordpress.com (2017)

Elevator Control:
Both "ruddervators" deflect together, the horizontal force component generated by each control surfaces cancels resulting in a pure pitch control



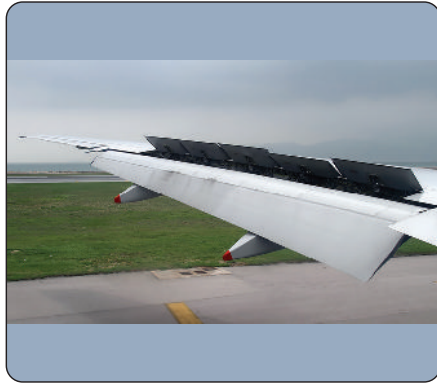
Gambar 3.21 C Kontrol Elevator di Bidang Kemudi Ruddervators

Sumber: ultralightdesign.wordpress.com (2017)

3. Bidang Kendali Tambahan (*Auxiliary Flight Control*)

Bidang kendali tambahan (*Auxiliary Flight Control*) berfungsi meningkatkan gaya angkat dan membantu kendali terbang utama. *Auxiliary flight control* terdiri dari *speedbrake*, *autopilot* atau *fly by wire*, *trimmable horizontal stabilizer*, dan *canards*.

- a. **Speedbrake** adalah perangkat kendali terbang yang berfungsi membantu mengurangi kecepatan atau pengereman pesawat, baik saat terbang maupun saat pendaratan (*landing*).



Gambar 3.22 A Spoiler Speedbrakes
Sumber: flickr.com/chrisjunkr (2013)

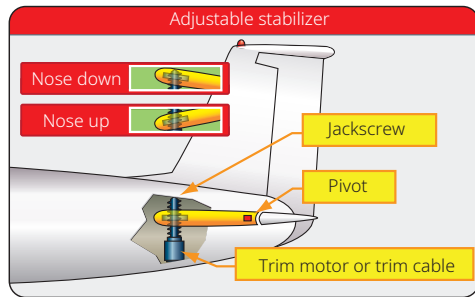


Gambar 3.22 B Tailspeedbrakes
Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

- b. **Trimmable Horizontal Stabilizer** atau **Adjustable Stabilizer** adalah bidang kendali terbang yang mengatur sikap sudut pasang dari *horizontal stabilizer*. *Adjustable stabilizer* berfungsi mengoreksi sikap pesawat saat kondisi terbang lurus dan mendarat (*straight and level flight*) ketika terjadi *nose-up* atau *nose-down*. Pengaturan *adjustable stabilizer* dilakukan oleh adanya *trimmotor* atau *trimcable* yang dipasang di area *leading edge stabilizer*.

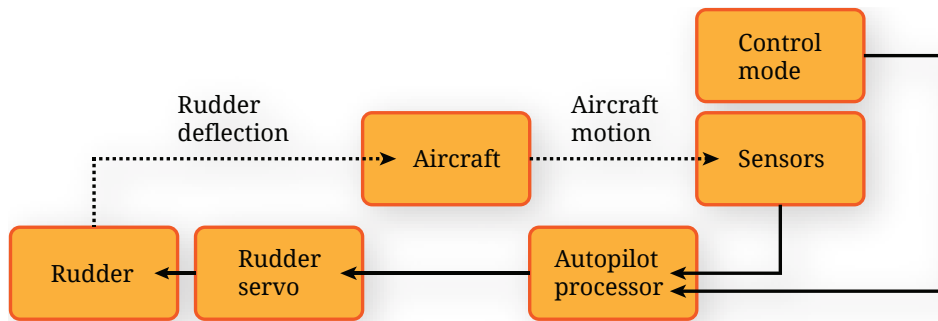


Gambar 3.23 A Trimmable Horizontal Stabilizer
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)



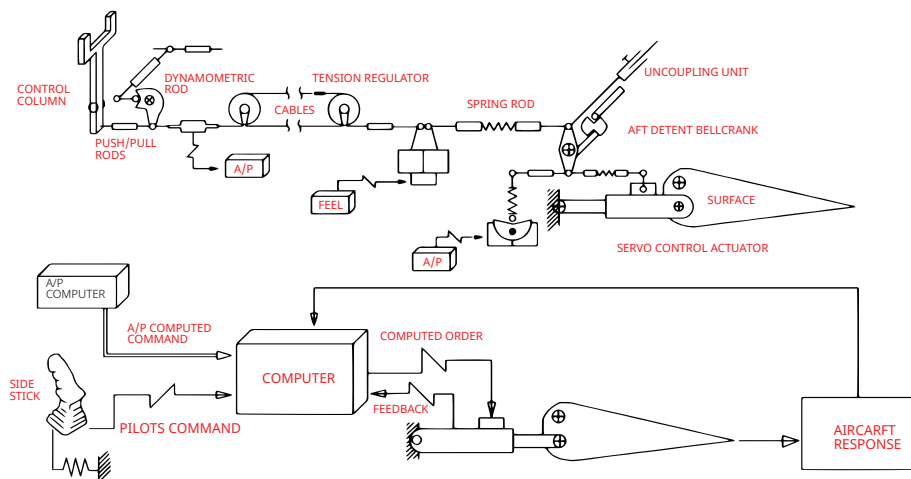
Gambar 3.23 B Trimmable Horizontal Stabilizer
Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

- c. **Autopilot** adalah sistem kendali terbang otomatis yang berfungsi menjaga sikap dan posisi terbang pesawat dalam kondisi tetap dan stabil sesuai perencanaan (*setting*). *Autopilot* dapat membantu mengurangi beban kerja dan mental penerbang (*pilot*), sehingga dapat lebih meningkatkan keselamatan terbang.



Gambar 3.24 Sistem Kendali Autopilot

Istilah *autopilot* kemudian berkembang menjadi *Fly by Wire Control* (FBW) yang menggunakan sinyal listrik untuk mengirimkan kerja pilot dari *flight deck* melalui komputer ke berbagai *actuator* kendali penerbangan. Sistem FBW berevolusi sebagai cara untuk mereduksi berat sistem hidromekanis, menghemat biaya perawatan, dan meningkatkan keandalan.



Gambar 3.25 Sistem Kendali Autopilot

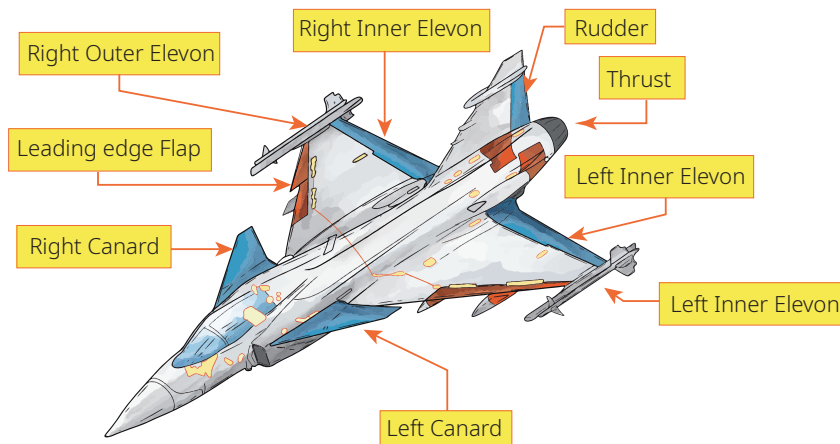
Sumber: airbus.com (2022)

Sistem kendali FBW elektronik dapat merespons perubahan kondisi aerodinamis dengan mengatur agar respons pergerakan kendali pesawat konsisten untuk semua kondisi penerbangan. Selain itu, komputer dapat diprogram untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan dan karakteristik gerakan berbahaya dari pesawat udara, seperti *stalling* dan *spinning*.

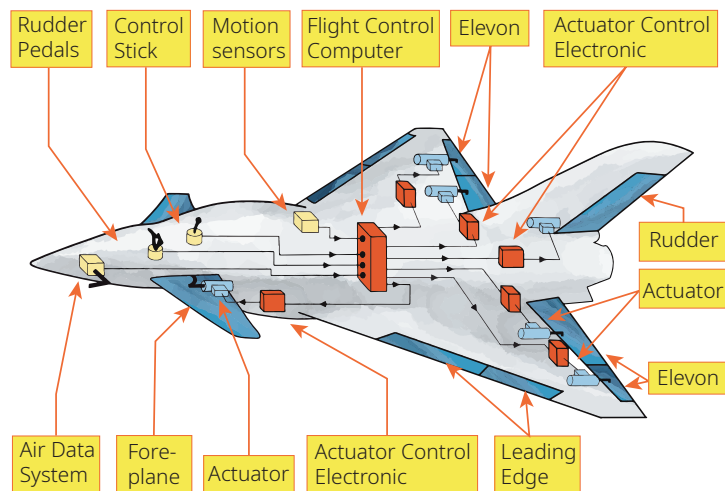
Banyak dari pesawat militer terbaru performa tinggi tidak stabil secara aerodinamis. Karakteristik ini dirancang agar pesawat dapat

meningkatkan kemampuan manuver dan responsif kinerjanya. Jika komputer tidak bereaksi terhadap berbagai ketidakstabilan, maka pilot akan kehilangan kendali pesawat. Contoh berapa pesawat yang telah menggunakan teknologi FBW, yaitu Airbus A-320, Boeing 737NG, 777, dan Dassault Falcon 7X.

- d. **Canards** atau **Fore-Plane** adalah bidang kendali terbang yang umumnya ditempatkan di depan sayap utama dengan dimensi yang lebih kecil dari sayap. Konfigurasi *canard* ini berbeda dengan pesawat konvensional yang menempatkan *horizontal stabilizer* kecil berada di belakang sayap utama.



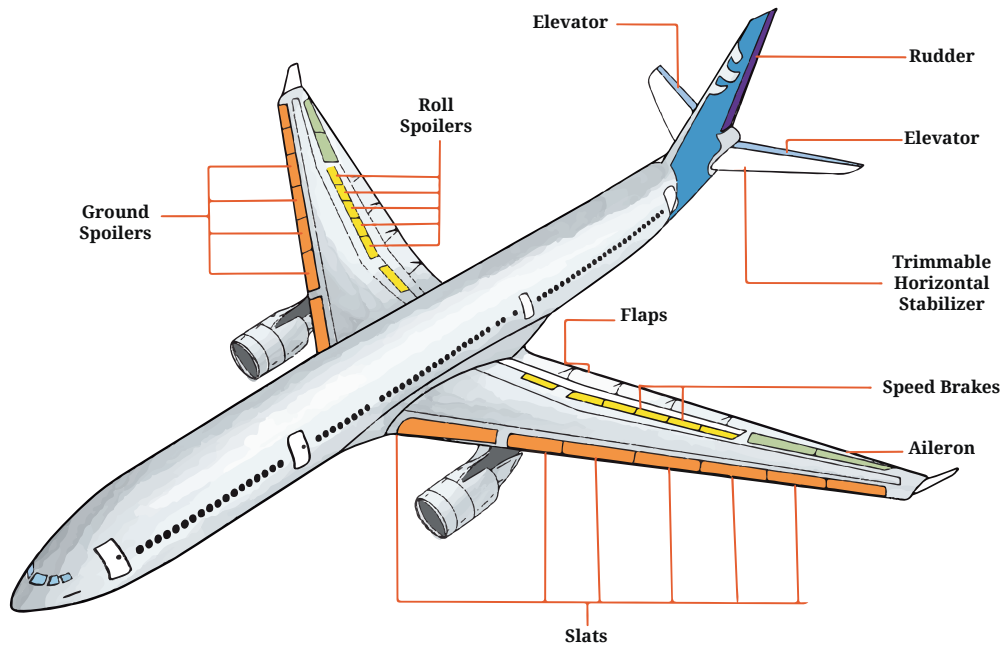
Gambar 3.26 Bidang Kendali Canards



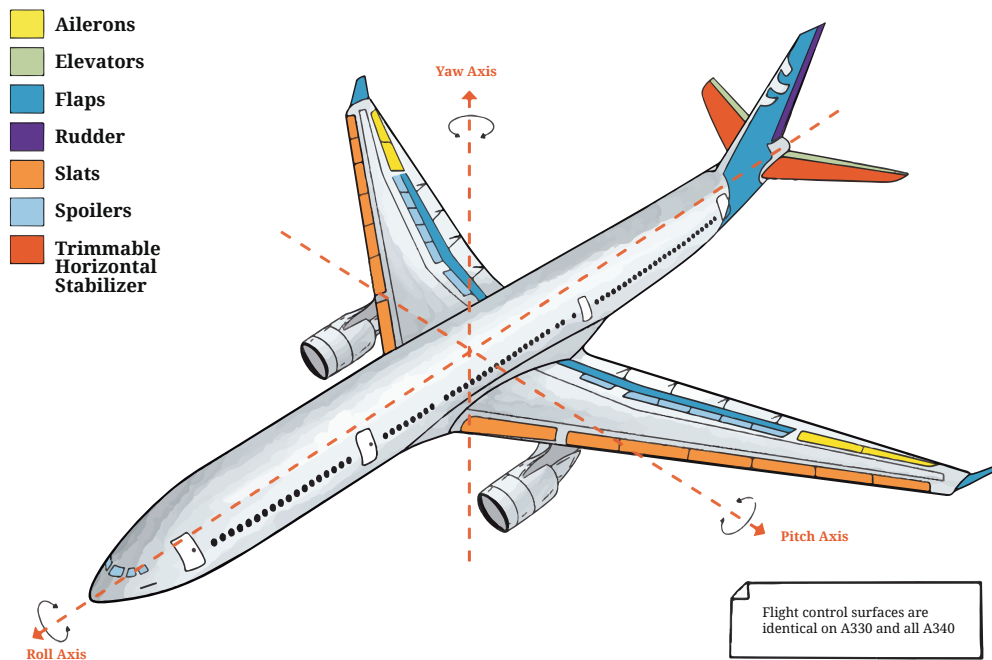
Gambar 3.27 Bidang Kendali Canards

Sumber: commons.wikimedia.org/MCVAGrup011 (2018)

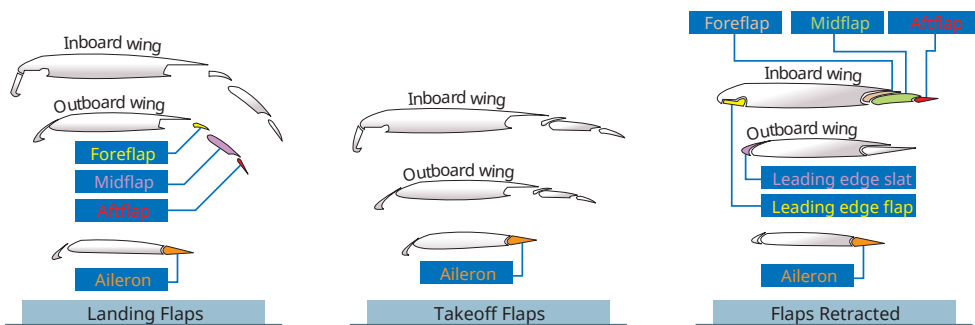
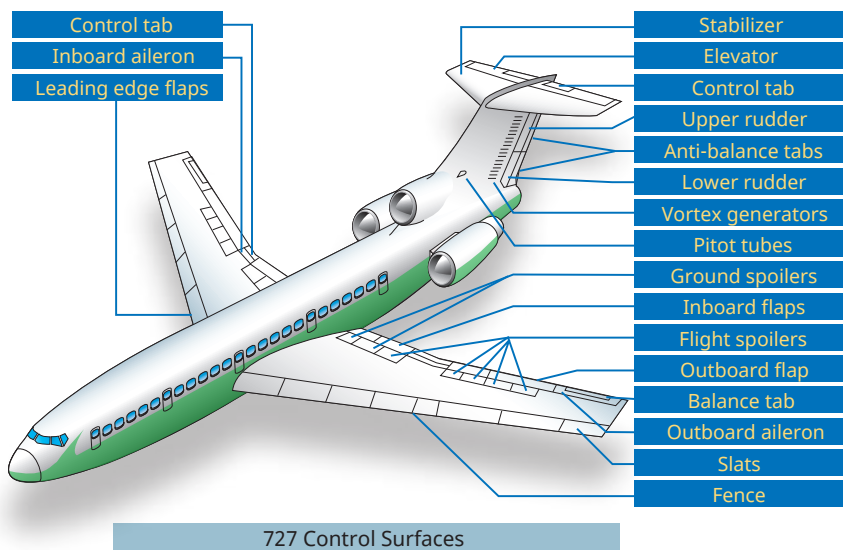
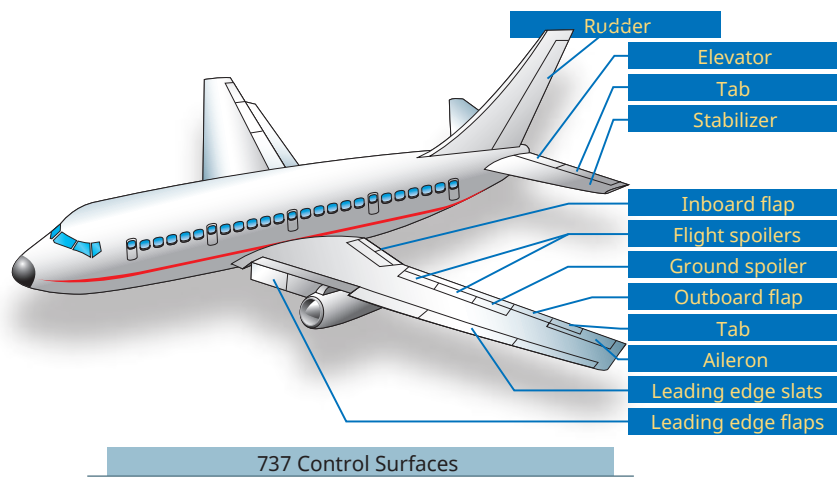
Berikut ditampilkan beberapa contoh model *aircraft flight controls*, baik pada pesawat udara sipil maupun militer:



Gambar 3.28 Kendali Terbang Pesawat Airbus A320

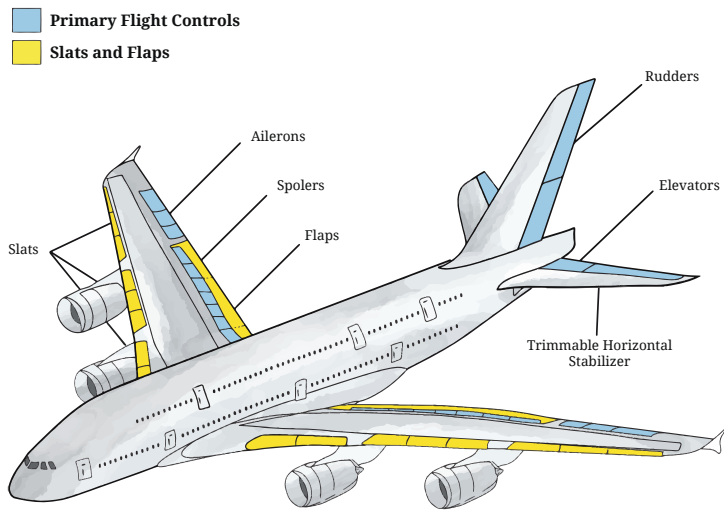


Gambar 3.29 Kendali Terbang Pesawat Airbus A330 dan A340

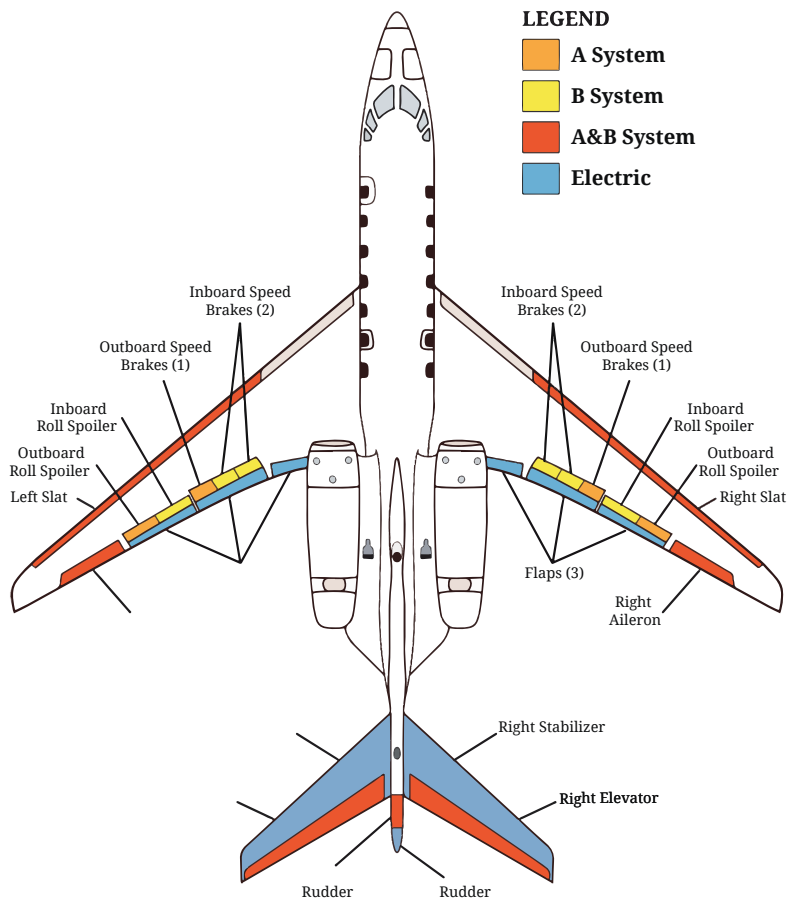


Gambar 3.30 Kendali Terbang Pesawat Boeing B727 dan B737

Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)



Gambar 3.31 Kendali Terbang Pesawat Airbus A380



Gambar 3.32 Kendali Terbang Pesawat Hawker



Aktivitas Pembelajaran

Buatlah kelompok bersama teman-temanmu untuk melakukan aktivitas-aktivitas berikut!

1. Tujuan utama dari *aircraft flight control* adalah untuk mengarahkan dan mengendalikan sikap terbang pesawat, agar pesawat dapat terbang dengan aman dan nyaman. Selain itu, *aircraft flight control* juga dapat digunakan agar pesawat dapat terbang dengan gerakan-gerakan ekstrim (*aerobatic maneuver*).
2. Lakukan kunjungan ke bandara atau hanggar pesawat salah satu MRO yang ada di sekitar kalian, misalnya ke GMF Aero Asia di area Bandara Soekarno Hatta atau Batam Aero Technic di Batam. Saat melakukan kunjungan, perhatikan dengan baik jenis-jenis dan gerakan dari *aircraft flight control*. Setelah itu, buatlah film pendek mengenai hasil pengamatan kalian terkait materi yang dipelajari pada bab ini!
3. Unggah film pendek tersebut di kanal *youtube* milik kalian dan ajak teman-teman untuk berkomentar sesuai materi yang disajikan!



Rangkuman

1. Bidang kendali pada pesawat udara terbagi menjadi 3 kategori yaitu:
 - a. Bidang Kendali Utama
 - b. Bidang Kendali Sekunder
 - c. Bidang Kendali Tambahan
2. Yang termasuk bidang kendali utama adalah:
 - a. *Aileron*
 - b. *Elevator*
 - c. *Rudder*
3. Yang termasuk bidang kendali sekunder adalah:
 - a. *Leading edge flap dan trailing edge flap*
 - b. *Slot/slotted*

- c. *Trimtabs*
 - d. *Spoiler*
 - e. *Flaperon*
 - f. *Elevons*
 - g. *Ruddervator*
4. Yang termasuk bidang kendali tambahan adalah:
 - a. *Speedbrake*
 - b. *Trimmable horizontal stabilizer* atau *adjustable stabilizer*
 - c. *Autopilot*
 - d. *Canards* atau *fore-plane*
 5. Sebuah pesawat udara harus memiliki stabilitas yang baik agar tetap berada pada sikap (*attitude*) dan jalur terbangnya (*flight track*).
 6. Sistem kendali terbang pesawat udara (*aircraft flight control system*) berfungsi untuk mengatur sikap terbang pesawat selama di udara.
 7. Terdapat tiga jenis stabilitas statis (*static stability*) yang berdasarkan sifat gerakan terhadap gangguan keseimbangan, yaitu: stabilitas statis positif, stabilitas statis negatif, stabilitas statis netral.
 8. Sebuah benda menunjukkan stabilitas dinamik positif (*positive dynamic stability*) apabila amplitudo gerakannya berkurang terhadap waktu. Apabila amplitudo gerakannya meningkat terhadap waktu, maka objek dikatakan memiliki dinamika ketidakstabilan atau stabilitas dinamik negatif.
 9. Tiga sumbu imajiner pesawat (*aircraft three axis*), yaitu *logitudinal axis*, *lateral axis*, *vertical axis*. Pesawat udara harus memiliki kecenderungan stabil terhadap sumbu-sumbu tersebut demi menjaga sikap pesawat di udara.
 10. Gerakan pesawat berdasarkan ketiga sumbunya, yaitu *rolling*, *pitching*, dan *yawing*.



Tes Formatif

1. Jelaskan apa yang dimaksud kendali terbang di pesawat udara!
2. Uraikan apa saja jenis stabilitas di pesawat udara!
3. Jelaskan tiga macam hal yang menjadi garis imajiner sumbu pesawat!
4. Jelaskan tiga kategori *aircraft flight control* di pesawat udara!
5. Uraikan satu per satu *flight control surfaces* dari tiap kategori *aircraft flight control*!
6. Jelaskan fungsi *trimtabs* secara tepat!
7. Apa yang dimaksud *Adverse Yaw*? Jelaskan secara tepat!



Refleksi

Berilah tanda centang (✓) di materi yang telah kalian pahami!

- | | |
|--------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> | Memahami jenis-jenis bidang kendali pesawat udara. |
| <input type="checkbox"/> | Memahami prinsip dasar kendali terbang. |
| <input type="checkbox"/> | Memahami komponen-komponen bidang kendali. |
| <input type="checkbox"/> | Memahami operasional bidang-bidang kendali. |
| <input type="checkbox"/> | Memahami tentang kestabilan dan keseimbangan serta fenomena Memahami gerakan saat pesawat terbang. |

Jika ada materi yang belum kalian pahami, silakan diskusikan bersama temanmu yang sudah paham atau tanyakan kepada gurumu.



Pengayaan

Untuk mengetahui, memahami, dan menambah wawasan kalian tentang *Aircraft Flight Control*, silakan jelajahi internet melalui alamat-alamat situs berikut ini.



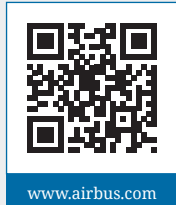
www.faa.gov



www.easa.europa.eu



www.boeing.com



www.airbus.com



<https://hubud.dephub.go.id/>

Sistem dalam Pesawat Udara



Coba amati pesawat udara yang pernah Kalian lihat atau tumpangi, apa yang membuat pesawat udara tersebut aman dan nyaman untuk mengantar penumpang dan barang dari satu tempat ke tempat lainnya?



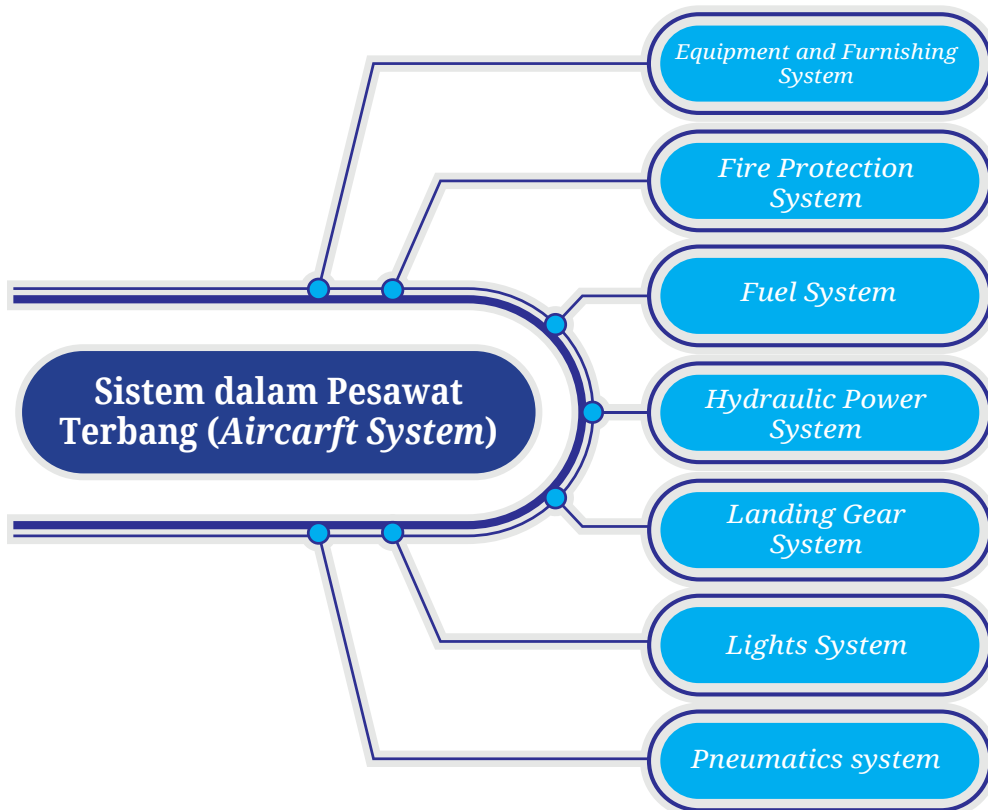
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami alat dan perlengkapan penunjang kenyamanan dan keamanan di pesawat udara.
2. Mengidentifikasi lokasi penempatan peralatan dan perlengkapan kenyamanan dan keamanan di pesawat.
3. Mengidentifikasi jenis-jenis kebakaran di pesawat udara.
4. Memahami peralatan pemadam kebakaran di pesawat udara.
5. Memahami sistem bahan bakar pesawat bermesin piston dan gas turbin sistem.
6. Memahami cara kerja sistem hidrolik di pesawat udara.
7. Mengidentifikasi komponen sistem hidrolik di pesawat udara.
8. Memahami cara kerja sistem landing gear pesawat udara.
9. Mengidentifikasi komponen sistem *landing gear* pesawat udara.
10. Mengidentifikasi lokasi dan fungsi lampu eksterior.
11. Mengidentifikasi lokasi dan fungsi lampu interior.
12. Mengidentifikasi lokasi dan fungsi lampu darurat.
13. Memahami fungsi dan sumber sistem *pneumatic* pesawat udara.
14. Mengidentifikasi komponen sistem *pneumatic* di pesawat udara.



Peta Konsep



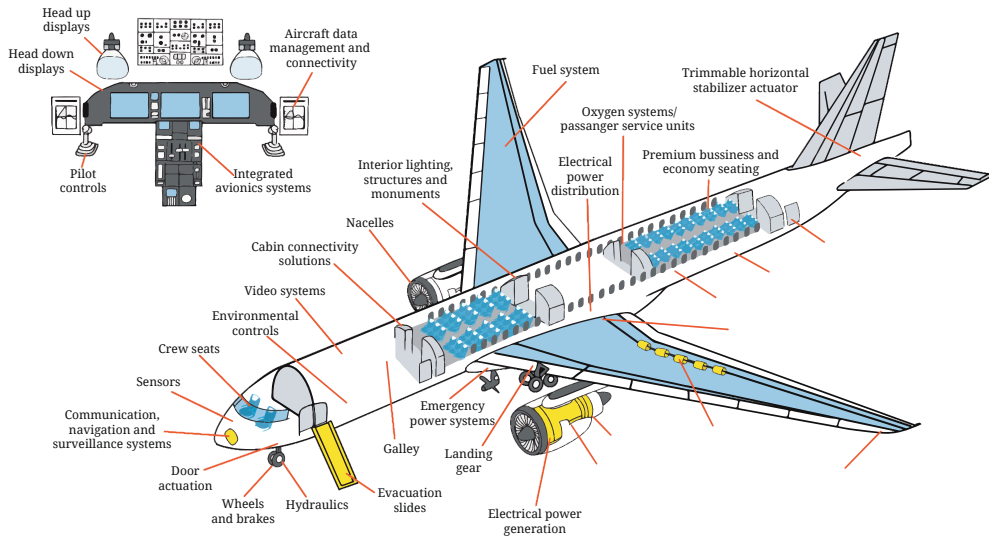
Kata Kunci

Equipments, cabin furnishing, fuel system, lights sistem, pneumatics system, hydraulik system, landing gear system, fire protection system.

Agar penerbangan terasa nyaman sekaligus aman, apa saja pendukung yang diperlukan pesawat udara untuk terbang? Bagaimana sistem-sistem dalam pesawat udara bekerja? Bagaimana jika terjadi kebakaran mesin saat pesawat mengudara, apakah ada sistem dalam pesawat yang menjamin keselamatan kru dan penumpang?

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, pada bab ini kita akan pelajari tentang *Aircraft System* yang terdapat di pesawat terbang, yaitu, sistem bahan bakar (*fuel system*), sistem penerangan (*light system*), sistem alat pendaratan (*landing gear system*), sistem pneumatik (*pneumatic system*), dan

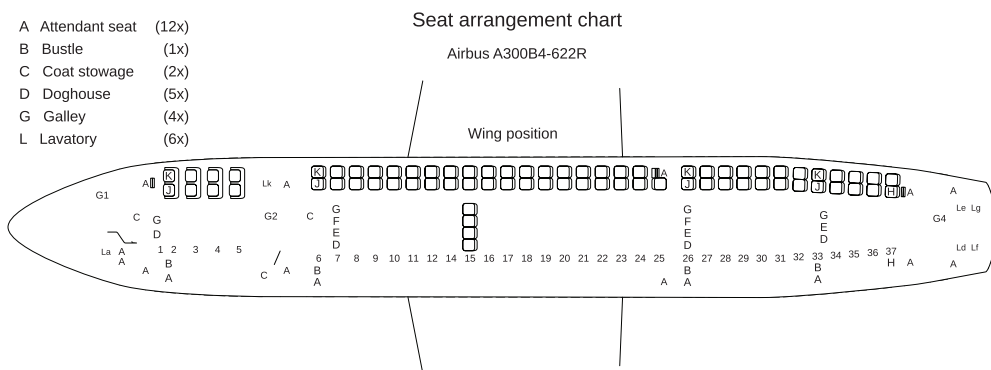
sistem hidrolik (*hydraulic system*), yang semua fungsinya untuk menjamin kenyamanan dan keselamatan pesawat beserta penumpang dan kru selama melaksanakan penerbangan.



Gambar 4.1 Pesawat Udara dan Sistem Pendukungnya
 Sumber: www.collinsaerospace.com (2022)

A. Equipment and Furnishing System (ATA 25)

Kenyamanan dan keamanan di dalam pesawat udara adalah faktor yang harus diutamakan, baik untuk penumpang maupun kru. Karena itulah, pesawat udara mengoperasikan *Equipment and Furnishing System* yang terdiri dari beberapa hal berikut.



Gambar 4.2 Lay Out Kabin Penumpang
 Sumber: wikipedia.org/Goran tek-en (2014)

1. Perlengkapan dan Perabotan (*Equipment and Furnishings*)

Equipment and Furnishings adalah perlengkapan dan perabotannya yang meliputi seluruh unit pelayanan untuk kebutuhan kenyamanan dan keamanan penumpang serta kru, misalnya kursi, perabotan yang ada di setiap kursi tersebut, panel kru, dan *lavatory* (toilet).

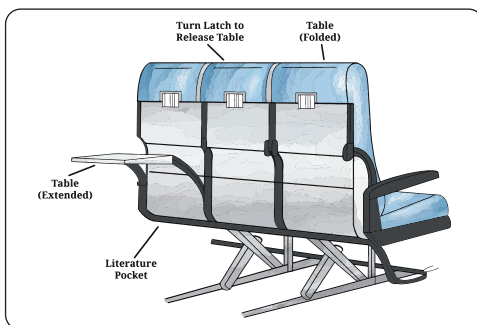
Di atas langit-langit kabin terpasang bagasi untuk penumpang menyimpan barang. Panel bagasi terbuat dari bahan *honey comb* yang dilengkapi dua buah engsel penahan agar bagasi tidak terbuka penuh. Di pinggir alur bagasi ada kisi-kisi lubang udara.



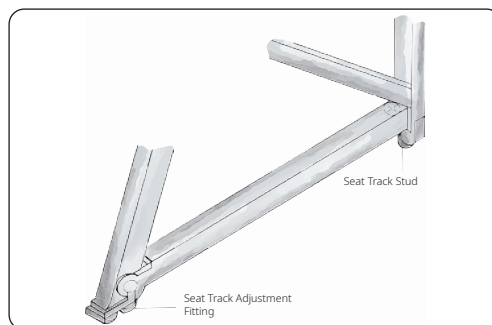
Gambar 4.3 Bagasi Penumpang dan Jajaran Kursi di Kabin

Sumber: Airbus.com (2019)

Kursi penumpang terpasang di atas jalur kursi yang ada di lantai. Jalur (*track*) itu memungkinkan kursi dapat didorong ke depan atau ke belakang sesuai kebutuhan penumpang. Tersedia juga kancing kursi dan pin kunci yang mengunci kursi di posisi yang ditetapkan.



Gambar 4.4 Struktur Kursi Penumpang



Gambar 4.5 Track/Jalur Kursi

Kursi dilengkapi sandaran punggung yang dapat disetel, bantal kursi, sabuk pengaman, lengan kursi yang dapat dinaik-turunkan, dan alas kursi dengan bantalan tangan dan kaki yang tetap. Sandaran punggung kursi bersifat individual dan dapat kembali ke posisi tegak. Kursi juga dilengkapi dengan meja terpisah.

2. Sabuk Pengaman Bahu (*Shoulder Harness*)

Persyaratan dasar struktur pesawat adalah memberikan kesempatan kepada setiap penumpang untuk menyelamatkan diri dari cedera serius apabila terjadi pendaratan darurat. Jadi, tujuan utama *shoulder harness* adalah mencegah personel cedera fatal apabila terlibat kecelakaan pesawat.

Tubuh manusia memiliki kemampuan yang melekat menahan deselerasi dari 20g untuk jangka waktu hingga 200 milidetik (0,2 detik) tanpa cedera. Dalam pandangan tersebut, maka orang-orang yang memasang sabuk pengaman menggunakan sistem pengendalian yang dirancang untuk menahan beban 20g-25g (20 kali gravitasi sampai 25 kali gravitasi).

Secara umum ada dua jenis sabuk pengaman, yaitu:

- a. Tipe pengikat diagonal tunggal (*Single diagonal type harness*)
- b. Tipe pengikat bahu ganda (*Double over the shoulder type harness*)

Sabuk pengaman bahu ganda terdiri dari dua titik pengikatan independen lalu diikat pada satu titik. Konfigurasinya “Y”. Tempat pemasangannya tergantung tempat yang tersedia di setiap pesawat; biasanya di kursi, di lantai, atau terpasang langsung ke bagian belakang.

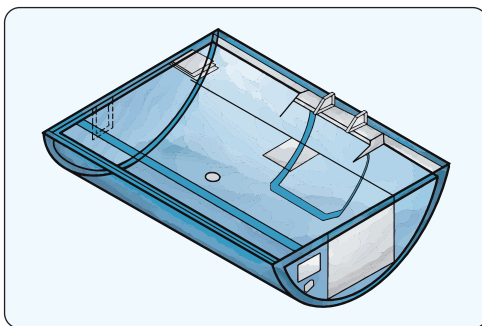
Fungsi rel inersia di sabuk pengaman adalah mengunci dan menahan tubuh pengguna tetap berada di tempatnya apabila terjadi kecelakaan. Namun, sabuk pengaman juga menjamin kenyamanan bergerak bagi pengguna.



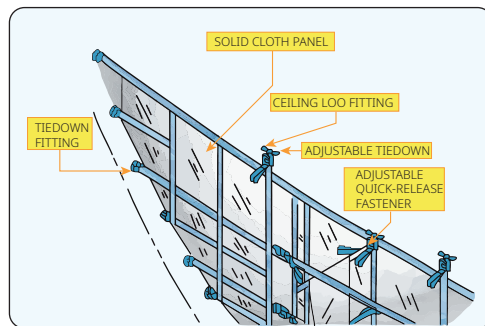
Gambar 4.6 Pengikat Diagonal Tunggal & Kursi Kru

3. Kompartemen Kargo

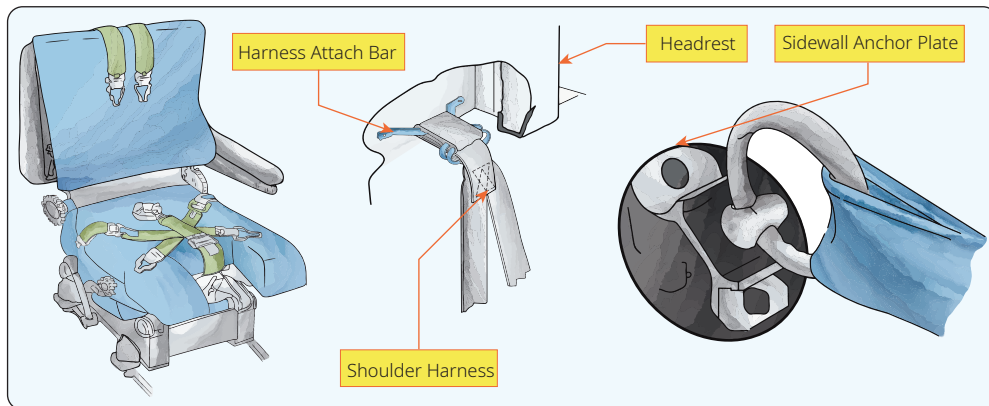
Bagian kargo pesawat penumpang berada di bawah kabin penumpang. Kompartemen kargo terdiri dari dua bagian, yaitu bagasi depan dan bagasi belakang. Setiap kompartemen memiliki katup pemerataan/penyamaan tekanan dan memiliki panel pembuang tekanan. Setiap kompartemen memiliki *access door*,udukan alat pengikat (*anchor plates*), jalur untuk mengikat (*tie-down track*), dan anyaman tali agar kargo tidak bergeser. Jalur pengikat bisa dijalankan ke depan dan ke belakang. Setiap kompartemen diikat ke badan pesawat dengan *lock-bolts* lalu tersambung dengan *tiedown fitting*.



Gambar 4.7 Kompartemen Kargo



Gambar 4.8 Pengaman Kargo

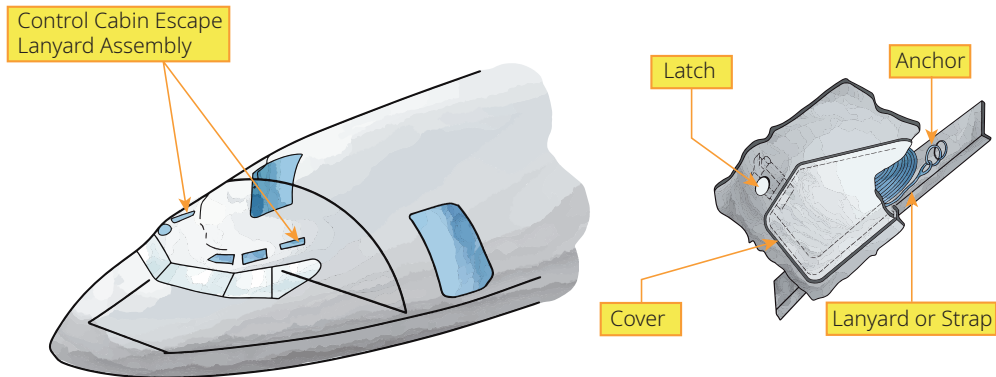


Gambar 4.9 Harness di Kursi Pilot

4. Perlengkapan Kedaruratan (*Emergency Equipment*)

Ada beberapa peralatan untuk kondisi darurat yang dipasang di pesawat, yaitu *escape straps*, *door mounted escape slides*, *over-water survival equipment*, dan *miscellaneous emergency equipment*.

Escape straps tersedia di kokpit di atas pilot dan di jendela geser co-pilot. *Escape slides* berbentuk tangga luncur terpasang di setiap sisi bawah pintu pesawat. *Over-water survival equipment* adalah perangkat keselamatan di atas air terdiri dari sekoci dan rompi pelampung. Kotak *Miscellaneous kit* terdapat di *cockpit* dan kabin. *Miscellaneous Kit* terdiri dari *megaphones*, sinyal asap, *kit P3K*, masker dan kacamata, kapak, senter, pemadam api, dan oksigen portabel.



Gambar 4.10 Lokasi Penempatan Escape Strap di Kokpit

Escape slide (tangga peluncur) memiliki komponen:

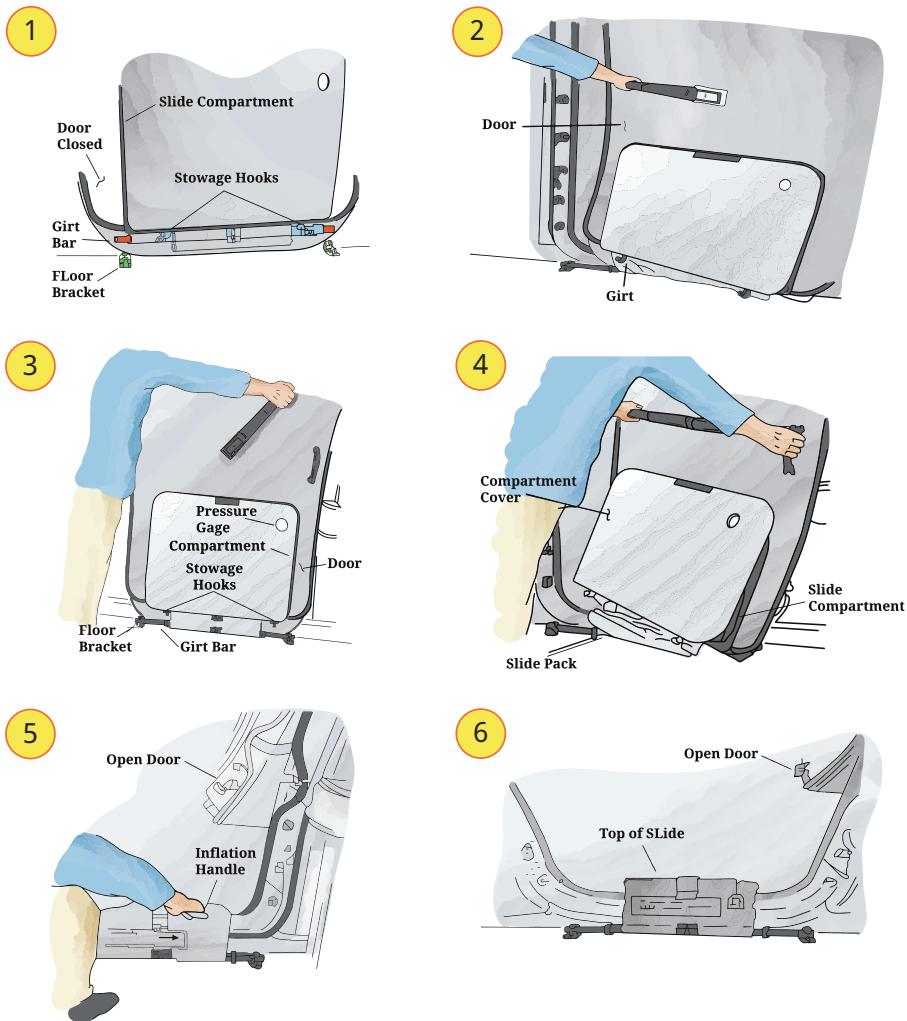
- *Escape slide pack* (paket tangga peluncur)
- *Escape slide compartment* (bagian dalam *escape slide*)
- *Floor brackets* (penyangga lantai)

Adapun *escape slide pack* memiliki komponen:

- *Escape slide*
- *Detachable girt*
- Girt bar
- *Air bottle* (botol udara)

Paket peluncur ini dipasang di bawah setiap pintu bagian dalam dan pintu dapur pesawat. Botol udara berisi gas bertekanan tinggi untuk membuat seluncur mengembang.

Cara Mengoperasikan *escape slide*:



Gambar 4.11 Mengoperasikan Tangga Peluncur

1. Pasang paket peluncur di bawah pintu tertutup.
2. Lepaskan pengaitnya lalu taruh di *bracket* di lantai.
3. Perlahan buka pintu secara penuh.
4. Begitu pintu membuka, paket mulai mengembang
5. Koneksi antara pengait dan penutup semakin menegang.
6. Apabila paket tidak mengembang secara otomatis, maka lakukan secara manual.
7. Dalam 6 menit peluncur mengembang secara penuh.

B. Fire Protection System (ATA 26)

Apabila pesawat yang kalian tumpangi terbakar, apa yang kalian lakukan? Apa saja pemicu terjadinya kebakaran dan bagian pesawat apa yang rawan terbakar?

1. Penggunaan Detektor dan Lokasi Penempatannya

Api merupakan salah satu ancaman yang paling berbahaya untuk pesawat udara. Karena itulah, lokasi yang berpotensi menimbulkan kebakaran harus dilindungi oleh sistem proteksi kebakaran, terutama pada pesawat udara bermesin modern.

Lokasi penempatan detektor atau sistem pemadam kebakaran pada pesawat ada di posisi sebagai berikut.

- *Engines and Auxiliary Power Unit (APU)*
- Kargo dan Kompartemen Bagasi
- Lavatori di Pesawat Berpenumpang
- *Electronic Bays*
- *Wheel Wells*
- *Bleed Air Ducts*

Detektor ditempatkan di berbagai zona terpantau untuk mendeteksi kebakaran atau kondisi panas. Cara mendeteksi kebakaran pada pesawat bermesin piston atau pesawat turboprop bisa melalui hal-hal sebagai berikut.

- Detektor panas berlebihan (*Overheat detectors*).
- Detektor kenaikan suhu rata-rata (*Rate of temperature rise detectors*).
- Detektor api (*Flame detectors*).
- Pengamatan oleh awak pesawat udara (*Observation by crew members*).

Jenis detektor di atas untuk mendeteksi kebakaran mesin. Ada jenis detektor yang jarang untuk mendeteksi kebakaran mesin, contohnya detektor asap. Detektor asap jarang digunakan untuk mendeteksi api di mesin, jenis ini lebih cocok untuk memantau area di mana material panas perlahan membara, seperti kargo dan kompartemen bagasi. Detektor sejenis lainnya, yaitu detektor karbon monoksida dan kit sampel kimia, mampu mendeteksi zat/campuran yang bisa menyebabkan ledakan.

Sistem proteksi kebakaran pesawat udara lengkap paling banyak digunakan oleh pesawat udara bermesin turbin dengan metode pendeteksian sebagai berikut.

- 1) *Rate of Temperature Rise Detectors* (Detektor Kenaikan Suhu Rata-Rata)
- 2) *Radiation Sensing Detectors* (Detektor Penginderaan Radiasi)
- 3) *Smoke Detectors* (Detektor Asap)
- 4) *Overheat Detectors* (Detektor Panas Berlebih)
- 5) *Carbon Monoxide Detectors* (Detektor Karbon Monoksida)
- 6) *Combustible Mixture Detectors* (Detektor Campuran yang Mudah Terbakar)
- 7) *Optical Detectors* (Detektor Optik)
- 8) *Observation of Crew Or Passengers* (Pengamatan oleh Awak Pesawat atau Penumpang)

Jenis detektor yang paling umum digunakan untuk deteksi api cepat adalah detektor kenaikan suhu rata-rata (*Rate of Temperature Rise Detectors*), detektor optik (*Optical Detectors*), *Pneumatic Loop*, dan *Electric Resistance System*.

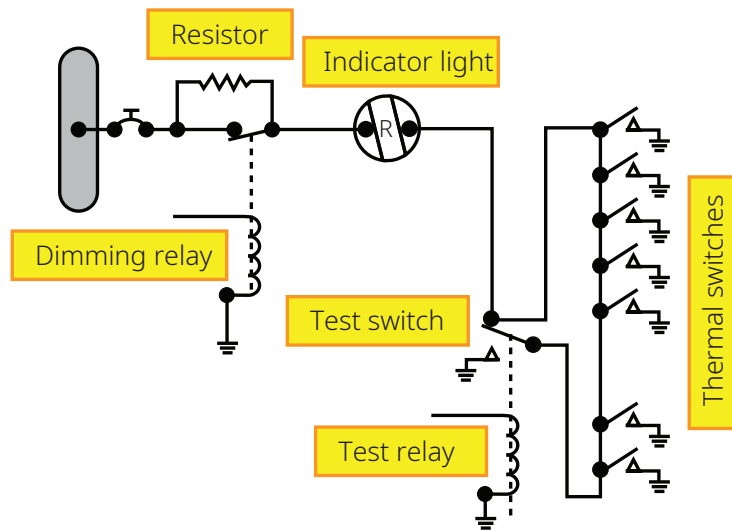
2. Sistem Deteksi dan Peringatan untuk Kebakaran dan Asap (*Fire and Smoke Detection and Warning Systems*)

Sebuah sistem deteksi kebakaran harus menunjukkan keberadaan api. Unit ini dipasang di lokasi yang sangat mungkin timbul api/panas. Tiga jenis sistem detektor yang umum digunakan adalah tipe sakelar termal, termokopel system, dan *continuous loop system*.

a. *Thermal Switch System* (Sakelar Termal Panas)

Sakelar termal ini adalah unit sirkuit listrik lengkap yang peka panas pada suhu tertentu. Terhubung secara paralel satu sama lain, tetapi terhubung secara seri dengan lampu indikator.

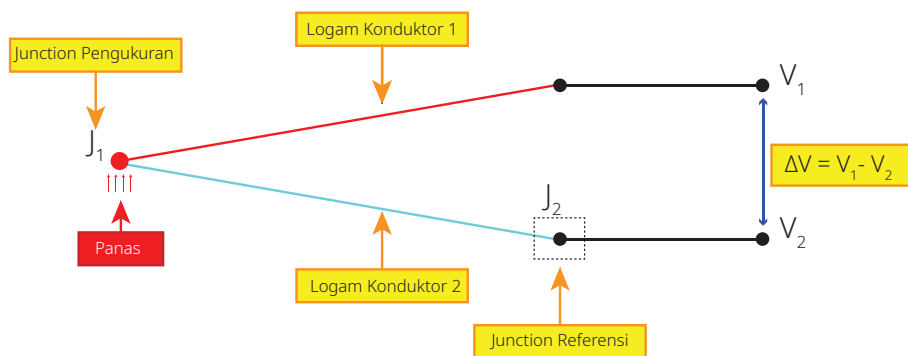
Jika suhu dalam satu bagian dari rangkaian naik di atas nilai yang ditetapkan, maka sakelar termal akan menutup, hingga lampu sirkuit menyala dan mengindikasikan adanya kebakaran atau kondisi panas berlebih di bagian yang ditunjuk.



Gambar 4.12 Thermal Switch Fire Circuit (Sirkuit Sakelar Termal)
 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

b. Thermocouple System (Termokopel Sistem)

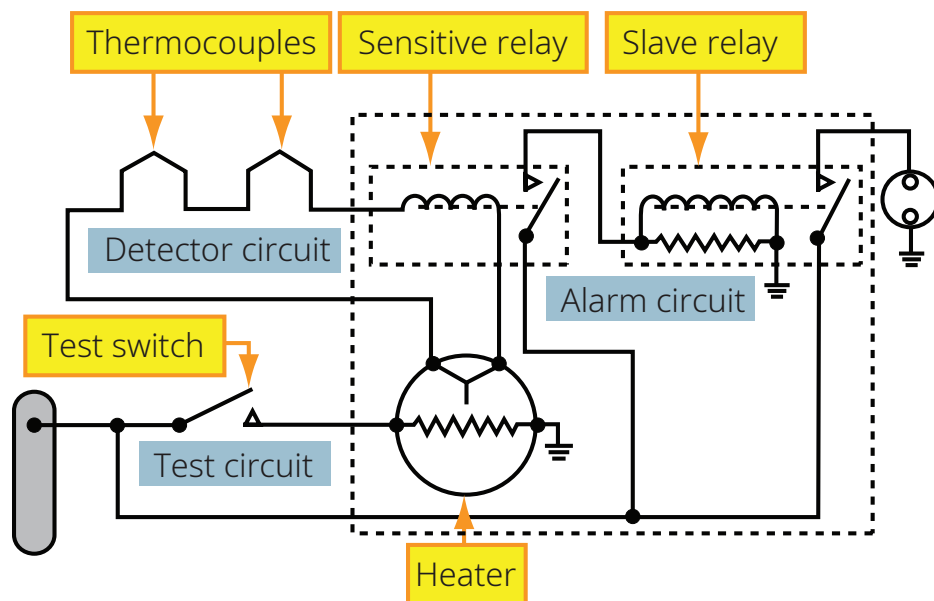
Termokopel dibuat dari dua logam berbeda, misalnya menggunakan *chromel* dan *constantan* yang kedua ujungnya disatukan. Titik penyatuan logam ini disebut sambungan thermo-elektrik. Satu logam konduktor berfungsi sebagai konduktor referensi dengan suhu konstan (tetap), sedangkan logam yang satu lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas tertentu. Jika suhu naik dengan cepat, termokopel menghasilkan tegangan karena perbedaan suhu kedua logam tadi. Termokopel tidak memberikan peringatan ketika panas mesin terjadi perlahan, atau ketika korsleting timbul secara perlahan.



Gambar 4.13 Prinsip Kerja Sirkuit Termokopel

Berdasarkan gambar tersebut, ketika sambungan atau *junction* memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika sambungan yang terhubung dalam rangkaian mendapat suhu panas, maka akan terjadi perbedaan suhu di antara dua kawat tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran.

Sistem ini terdiri dari *relay box*, lampu peringatan, dan termokopel. Sistem pengkabelannya terbagi dalam rangkaian sirkuit detektor, sirkuit alarm, dan sirkuit uji.



Gambar 4.14 Sirkuit Peringatan Kebakaran *Thermocouple*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Keterangan gambar:

Relay box terdiri dari dua *relay*; *relay* sensitif dan *relay slave*, serta unit uji termal. Kotak semacam itu dapat berisi dari satu hingga delapan sirkuit identik, tergantung jumlah zona potensi api yang akan dideteksi. *Relay* akan mengendalikan lampu peringatan. Pada gilirannya, termokopel dapat mengontrol pengoperasian *relay*. Rangkaian terdiri dari beberapa termokopel secara seri satu sama lainnya dan juga dengan *relay* sensitif.

c. Continuous Loop System

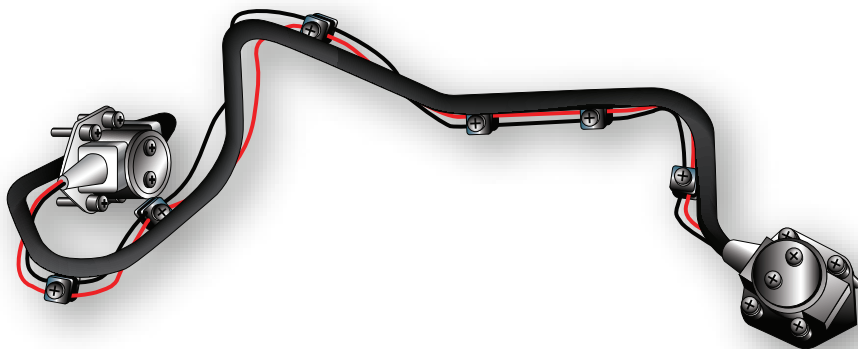
Detektor ini merupakan detektor kontinu atau sistem pendeteksian yang cakupannya lebih luas ketimbang jenis detektor suhu tipe apa pun. Ada dua jenis sistem kontinu *loop* yang sering dipakai, yaitu tipe detektor termistor, seperti sistem *Kidde System*, dan *Fenwal System*; dan detektor tekanan pneumatik, seperti *Lingberg System*.

d. Pressure Type Sensor Responder System

Desain dari detektor ini adalah berdasarkan prinsip hukum gas. Unsur penginderaan terdiri dari tabung tertutup berisi helium terhubung di salah satu ujung rakitan responder. Ketika elemen memanas, tekanan gas di dalam tabung meningkat sampai batas alarm tercapai. Pada titik ini, sakelar internal menutup dan menginformasikan ke alarm di kokpit. Peringatan ini terus-menerus dipantau. Jenis sensor ini dirancang sebagai sistem deteksi sensor tunggal dan tidak memerlukan unit kontrol.

e. Pneumatic Continuous Loop System

Sistem ini digunakan untuk mendeteksi kebakaran di mesin pesawat udara jenis transportasi. Biasanya digunakan dalam desain *dual-loop* untuk meningkatkan keandalannya. Detektor pneumatik memiliki dua fungsi penginderaan (penyensoran). Sensor ini membaca ambang suhu atas rata-rata dan membaca kenaikan suhu lokal terpisah lain yang disebabkan oleh nyala api atau gas panas. Kedua suhu rata-rata dan suhu terpisah lain itu sudah disetel oleh pabrik dan tidak dapat disesuaikan dengan lapangan.

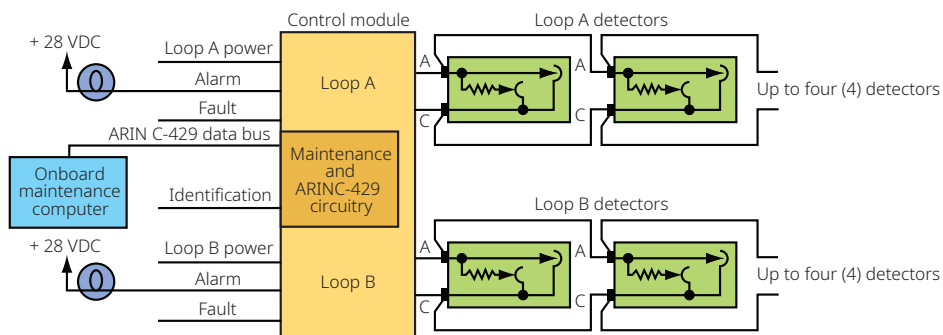


Gambar 4.15 *Pneumatic Dual Fire/Overheat Detector Assembly*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

f. *Averaging Function*

Detektor api/panas berlebih merupakan perangkat yang diisi gas helium. Tekanan gas helium di dalam detektor meningkat sebanding dengan suhu absolut lalu mengoperasikan diafragma tekanan yang menutup kontak/sambungan listrik dan mengaktifkan sirkuit alarm. Diafragma tekanan di dalam rakitan responder berfungsi sebagai kontak alarm elektrik satu sisi dan merupakan satu-satunya bagian yang bergerak di dalam detektor. Sakelar alarm telah disetel pada suhu rata-rata. Kisaran suhu umum untuk pengaturan suhu rata-rata adalah 200 °F (93 °C) hingga 850 °F (454 °C).



Gambar 4.16 Modul Sistem Kontrol Deteksi Pesawat

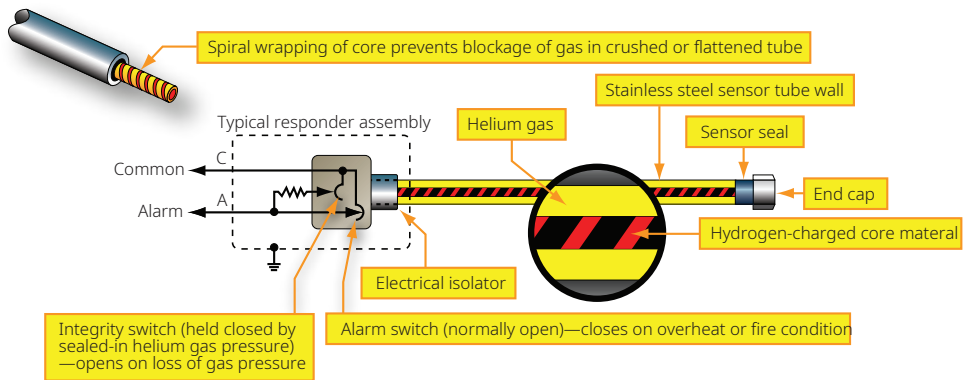
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Gambar di atas menunjukkan sistem deteksi kebakaran pesawat ketika sebuah modul kontrol memonitor dua loop dari empat detektor pneumatik, yang terhubung secara paralel. Modul kontrol merespons secara langsung kondisi alarm dan terus memonitor kabel dan keutuhan setiap loop. Normal sakelar alarm terbuka ini menutup pada kondisi panas berlebih atau kebakaran, menyebabkan arus pendek antara terminal A dan C. Selama operasi normal, nilai hambatan dipertahankan di terminal oleh sakelar integritas yang biasanya tertutup.

g. *Discrete Function (Fungsi Diskrit)*

Tabung sensor detektor api/panas berlebih juga berisi bahan inti berisi hidrogen. Sejumlah besar gas hidrogen dilepaskan dari inti detektor setiap kali bagian kecil dari tabung memanaskan sampai menyentuh suhu diskrit (suhu lokal lain) atau malah lebih tinggi lagi. Pengeluaran gas inti meningkatkan tekanan di dalam detektor lalu mengaktifkan sakelar alarm. Ketika tabung sensor mendingin, tekanan gas rata-rata menurun

dan gas hidrogen diskrit kembali ke material inti. Pengurangan tekanan internal memungkinkan sakelar alarm untuk kembali ke posisi normalnya, membuka sirkuit alarm elektrik.



Gambar 4.17 Sistem Detektor *Pneumatic Pressure Loop*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

3. *Smoke, Flame, and Carbon Monoxide Detection Systems*

Ada tiga jenis bahan detektor yang digunakan pada sistem pesawat, yaitu *smoke*, *flame*, dan *carbon monoxide*. Keterangan lengkapnya ada di pemaparan berikut ini.

a. *Smoke Detector*

Smoke Detector merupakan sistem pendeteksi asap yang memonitor toilet (*lavatory*) dan kompartemen bagasi/kargo sebagai penanda kondisi kebakaran. Instrumen pendeteksi asap yang mengumpulkan udara dipasang di lokasi strategis. Sebuah sistem deteksi asap digunakan saat jenis kebakaran yang diantisipasi menghasilkan sejumlah besar asap sebelum perubahan suhu yang timbul mampu menyalakan alarm detektor panas. Jenis detektor asap yang umum digunakan adalah jenis refraksi cahaya dan ionisasi.

1) *Light Refraction Type*

Light Refraction Type adalah jenis refraksi cahaya dari detektor asap yang mengandung sel fotoelektris untuk mendeteksi cahaya yang dibiaskan oleh partikel asap. Ketika partikel asap dirasa cukup membiaskan cahaya untuk sel fotoelektris, maka muncul arus listrik yang menyalakan lampu.

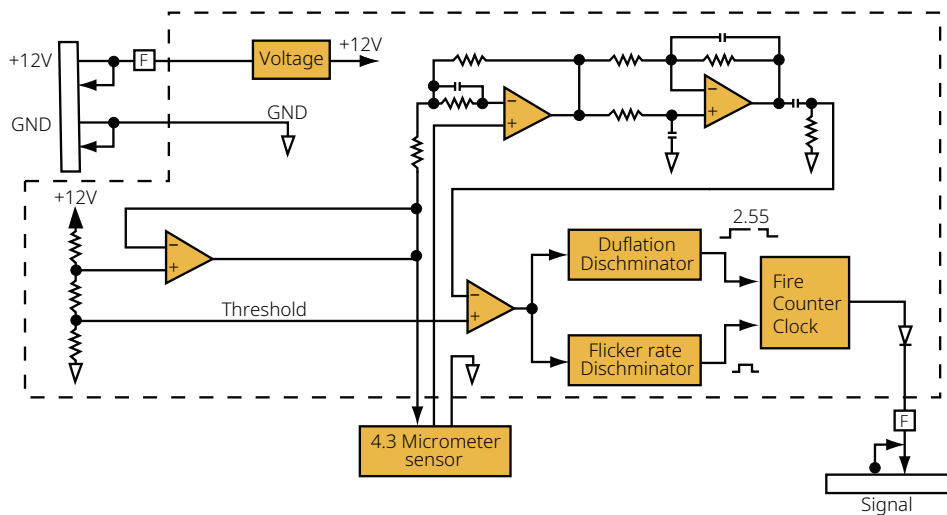
2) *Ionization Type*

Beberapa pesawat udara menggunakan detektor asap jenis ionisasi. Sistem ini menjalankan sinyal alarm dengan mendeteksi perubahan kepadatan

ion karena asap di kabin. Sistem ini terhubung ke daya listrik DC 28 volt yang ada di pesawat udara. Output alarm dan pemeriksaan sensitif sensor dilakukan hanya dengan sakelar uji di panel kontrol.

b. *Flame Detector*

Sensor optik, sering disebut sebagai detektor api, dirancang agar alarm mendeteksi keberadaan emisi radiasi yang spesifik dari api hidrokarbon. Kedua jenis sensor optik yang tersedia adalah inframerah (IR) dan ultraviolet (UV), berdasarkan panjang gelombang emisi tertentu yang dirancang untuk dideteksi. Detektor optik berbasis IR terutama digunakan *turboprop* pesawat ringan dan mesin helikopter. Sensor ini telah terbukti sangat diandalkan dan ekonomis.



Gambar 4.18 *Infrared (IR) Based Optical Flame Detector*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

c. *Carbon Monoxide Detector*

Carbon Monoxide Detector merupakan karbon monoksida tidak berwarna dan tidak berbau yang merupakan produk sampingan dari pembakaran tidak sempurna. Keberadaannya dalam udara pernafasan pada manusia dapat mematikan. Untuk memastikan keselamatan kru pesawat dan penumpang, detektor karbon monoksida digunakan dalam kabin pesawat udara dan kokpit. Detektor ini paling sering ditemukan di pesawat udara bermesin piston dengan pembuangan selubung panas dan digunakan juga di pesawat yang dilengkapi pemanas pembakaran. *Bleed air* dari turbin, ketika digunakan untuk menghangatkan kabin, didapat dari hulu ruang bakar mesin. Oleh karena itu, tidak ada ancaman karbon monoksida.

Ada beberapa jenis detektor karbon monoksida, umumnya detektor elektronik. Ada yang berupa panel terpasang dan portabel. Jenis detektor perubahan warna kimiawi juga umum. Jenis ini sebagian besar adalah portabel. Ada juga yang berbentuk tombol/kenop sederhana, berbentuk lembaran kartu atau lempengan yang permukaannya mengandung bahan kimia. Normalnya, warna bahan kimia adalah cokelat. Dengan adanya karbon monoksida, bahan kimia menggelap ke abu-abu atau bahkan hitam. Waktu transisi diperlukan untuk berubah warna itu berbanding terbalik dengan kehadiran konsentrasi CO.

4. Sistem Pemadam Kebakaran (*Fire Extinguishing Systems*)

a. *Extinguishing Agents*

1) Halogenisasi Hidrokarbon

Selama lebih dari 45 tahun, hidrokarbon terhalogenasi (halon) telah digunakan sebagai bahan pemadam kebakaran yang digunakan dalam pesawat udara angkut sipil. Akan tetapi, halon merusak lapisan ozon dan menimbulkan pemanasan global.

Meskipun penggunaan halon telah dilarang di beberapa negara, namun untuk bidang penerbangan diberikan pengecualian karena operasionalnya yang unik dan kebutuhan selamat dari kebakaran. Halon menjadi pemadam kebakaran pesawat udara terbaik dalam penerbangan sipil karena sangat efektif pada berbagai kondisi lingkungan pesawat; berbahan bersih (tidak ada residu), bukan penghantar listrik, dan kandungan racun yang relatif rendah.

Dua jenis halon digunakan dalam penerbangan: Halon 1301 (CBrF₃) dan Halon 1211 (CBrClF₂). Kebakaran kelas A, B, atau C secara tepat dikontrol dengan halon. Namun, jangan gunakan halon untuk kebakaran kelas D. Halon dapat bereaksi keras dengan logam terbakar.

Bahan pemadam yang paling umum digunakan saat ini adalah Halon 1301 karena kemampuan pemadamannya efektif dan toksisitas relatif rendah (UL klasifikasi Grup 6) juga tidak korosif. Halon 1301 tidak mempengaruhi materi yang kontak dan tidak memerlukan pembersihan ketika habis. Halon 1301 adalah bahan pemadam saat ini untuk pesawat udara komersial dan penggantinya sedang dalam pengembangan. Halon 1301 tidak diizinkan diproduksi lagi karena merusak lapisan ozon. Halon 1301 akan digunakan sampai pengganti yang cocok dikembangkan.

2) *Inert Cold Gases*

Karbon dioksida (CO₂) adalah bahan pemadam yang efektif. Paling sering digunakan dalam alat pemadam kebakaran yang tersedia untuk memadamkan api di bagian luar pesawat udara, seperti kebakaran mesin atau APU.

CO₂ telah digunakan selama bertahun-tahun untuk memadamkan kebakaran cairan yang mudah terbakar dan pada kebakaran yang melibatkan peralatan listrik.

3) *Bubuk Kering (Dry Powder)*

Kebakaran kelas A, B, atau C dapat dikendalikan oleh pemadam api kimiawi/bubuk kering. Bubuk ini mengandung *monoammonium fosfat*.

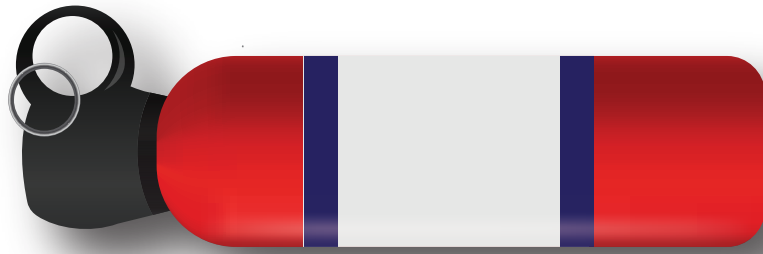
4) *Air (Water)*

Pemadaman terbaik untuk kebakaran tipe A dikendalikan dengan air, yaitu dengan mendinginkan material di bawah suhu pengapian dan merendam material agar tidak menyala kembali.

5. **Jenis Pemadam Kebakaran (*Extinguisher Types*)**

Alat pemadam kebakaran yang portabel terdapat di kabin atau kokpit. D gambar berikut memperlihatkan pemadam halon yang digunakan untuk memadamkan kebakaran listrik dan kebakaran akibat cairan yang mudah terbakar. Beberapa pesawat udara berpenumpang juga menggunakan pemadam air untuk memadamkan kebakaran non-listrik. Berikut ini adalah daftar bahan pemadam dan jenis (kelas) kebakaran yang masing-masing sesuai.

- Air – kelas A. Air mendinginkan material di bawah suhu pengapian dan rendam agar api tidak menyala kembali.
- Karbon dioksida – kelas B atau C.
- Bubuk kering – kelas A, B, atau C.
- Halon – hanya untuk kelas A, B, atau C.
- Halocarbon – hanya untuk kelas A, B, atau C.
- Bubuk kering khusus – kelas D.



Gambar 4.19 Alat Pemadam Api Portabel

Sistem Pemadam Api menggunakan CO₂

Pesawat udara tua bermesin piston menggunakan CO₂ untuk pemadaman api, tetapi semua pesawat bermesin turbin yang lebih baru menggunakan halon atau yang setara, misalnya *halocarbon*.

a. Portable

Alat ini adalah jenis alat pemadam kebakaran yang menggunakan satu tangan dan mudah dibawa (*portable*), digunakan dalam kabin pilot sehingga mudah bagi pilot mengambilnya sambil duduk.

b. Container

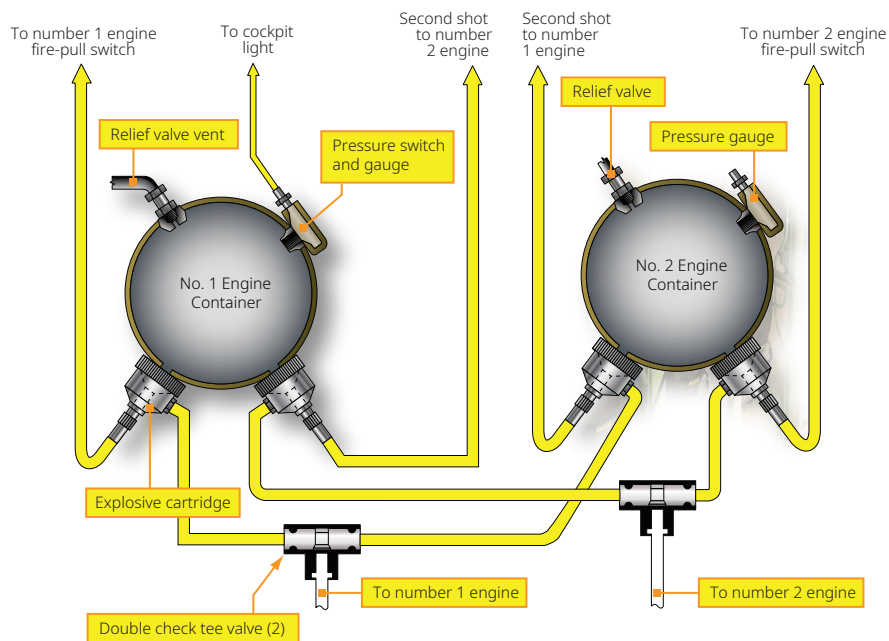
Pesawat udara berpenumpang memiliki sistem pemadam kebakaran tetap yang dipasang di kompartemen mesin turbin, kompartemen APU, kompartemen kargo dan bagasi, dan toilet (*lavatory*).

Kontainer pemadam api (botol *HRD*) menyimpan cairan bahan pemadam terhalogenasi dan gas bertekanan (biasanya nitrogen). Kontainer biasanya dibuat dari *stainless steel*. Kontainer ini juga tersedia dalam berbagai kapasitas. Kebanyakan kontainer untuk pesawat udara desainnya bulat, yang memungkinkan beban paling ringan. Namun, tersedia juga berbentuk silinder untuk mengatasi faktor keterbatasan ruang.

Setiap kontainer dilengkapi diafragma pembuang suhu/tekanan agar tekanan dalam kontainer tidak berlebih akibat paparan suhu ekstrem.



Gambar 4.20 Kontainer Non Portabel (Botol HRD) di Pesawat Angkut
 Sumber: hrd-aerosystems.com (2022)

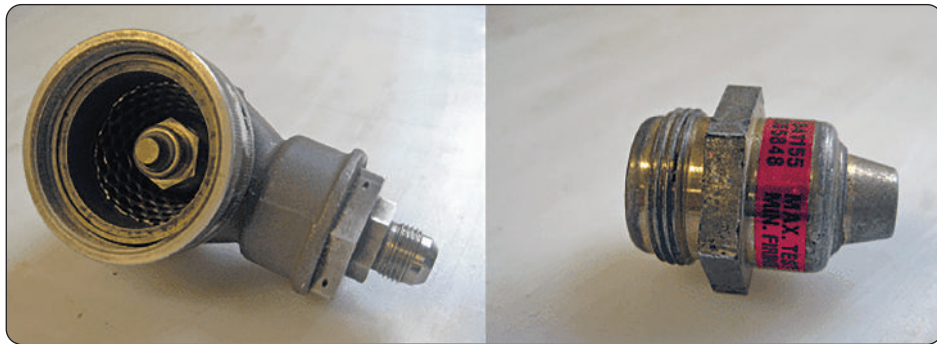


Gambar 4.21 Diagram Kontainer Pemadam Kebakaran

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

1) Katup Pembuangan (*Valve Discharge*)

Katup pembuangan terpasang di kontainer. Sebuah *Cartridge* dan sejenis cakram yang dapat pecah dipasang di katup pembuangan.



Gambar 4.22 Katup Pembuangan (Kiri) dan *Cartridge* atau *Squib* (Kanan)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

2) Indikator Tekanan

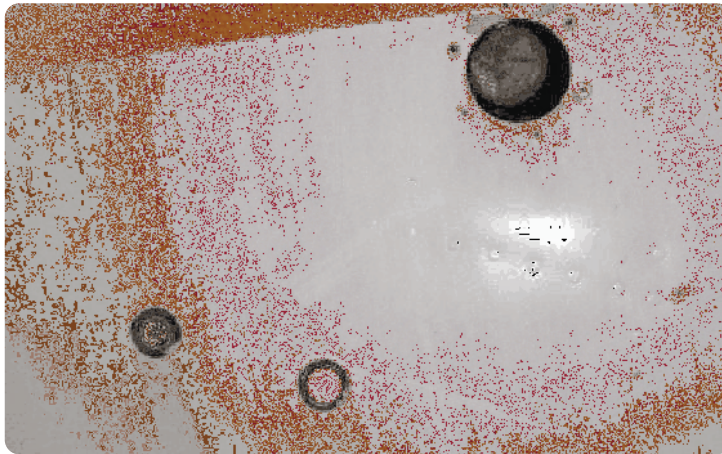
Ada berbagai diagnosis untuk mengenali isi bahan pemadam kebakaran. Sebuah pengukuran visual sederhana tersedia, biasanya indikator jenis *bourdon heliks* yang tahan getaran. Sebuah sakelar kombinasi pengukur visual menunjukkan tekanan kontainer aktual dan juga menyediakan sinyal listrik apabila tekanan kontainer hilang, menghalangi indikator kosong. Sebuah sakelar tekanan rendah jenis diafragma yang dapat diperiksa di tanah umumnya digunakan di kontainer yang tertutup rapat. Sistem *kidde* memiliki sakelar suhu terkompensasi yang dapat melacak variasi tekanan kontainer menggunakan ruang tertutup rapat.

3) *Two Way Check Valve*

Tersedia katup periksa dua arah dalam sistem dua-tembakan untuk mencegah bahan pemadam di dalam kontainer cadangan masuk ke dalam kontainer utama sebelum kosong. Katup tersedia dengan konfigurasi *fitting* MS33514 atau MS-33656.

4) *Discharge Indicator*

Indikator pengosongan memberikan bukti visual langsung kontainer kosong pada sistem pemadam kebakaran. Ada dua jenis indikator yang dapat disediakan, yaitu termal dan pengosongan/pelepasan. Kedua jenis indikator ini dirancang untuk dipasang di pesawat udara dan pemasangan *skin*.



Gambar 4.23 *Discharge Indicators*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook-Airframe, Volume 2/FAA (2018)

5) *Thermal Discharge Indicator* (Cakram Merah)

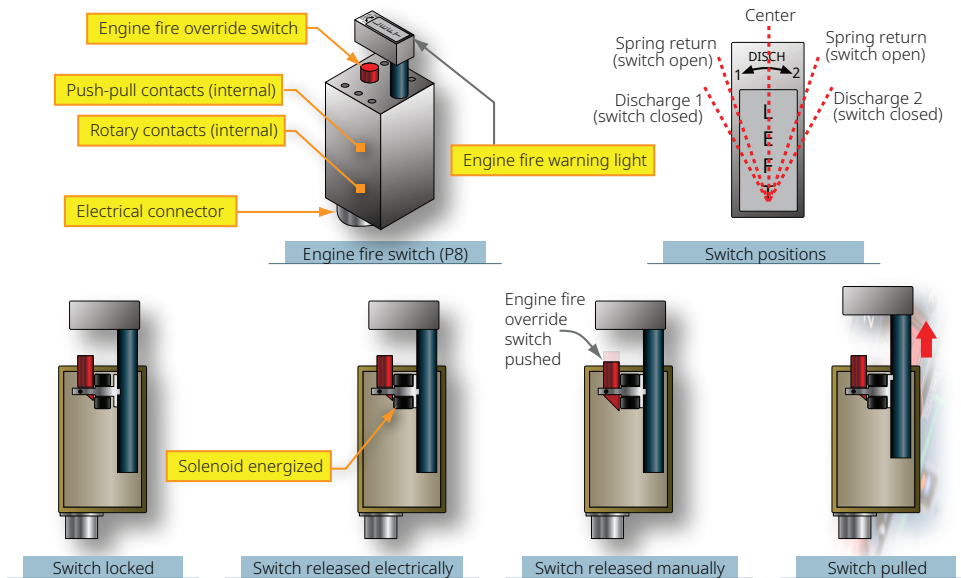
Indikator pengosongan termal dihubungkan ke *relief fitting* kontainer pemadam dan memunculkan cakram merah sebagai indikasi bahwa isi kontainer telah terbuang/kosong karena panas berlebih/api/kebakaran. Isi dibuang melalui bukaan yang terbentuk ketika cakram keluar. Hal ini memberitahukan kru dan awak pemeliharaan bahwa kontainer pemadam kebakaran harus diganti sebelum penerbangan berikutnya.

6) *Yellow Disk Indicator*

Jika kru/awak pesawat udara mengaktifkan sistem pemadam kebakaran, cakram yang kuning dikeluarkan dari kulit badan pesawat udara. Ini merupakan penanda untuk kru/awak pemeliharaan bahwa sistem pemadam kebakaran telah diaktifkan oleh awak pesawat yang terbang, dan kontainer pemadam kebakaran ini perlu diganti sebelum penerbangan berikutnya.

Sakelar-sakelar kebakaran *engine* dan APU biasanya dipasang pada panel atas bagian tengah atau di tengah konsol di *flight deck*. Ketika sakelar kebakaran mesin diaktifkan, maka yang terjadi adalah: mesin mati karena saluran bahan bakar menutup, mesin terisolasi dari sistem-sistem lain, dan sistem pemadam kebakaran diaktifkan.

Beberapa pesawat udara menggunakan sakelar kebakaran yang perlu ditarik dan diputar untuk mengaktifkan sistem, sementara yang lain menggunakan jenis sakelar tekan dengan hati-hati.



Gambar 4.24 Engine Fire Switch Operation

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Sistem peringatan kebakaran yang dapat dilihat dan didengar dipasang di kokpit untuk memperingatkan kru pesawat. Sirene berbunyi dan satu atau beberapa lampu peringatan menyala untuk memperingatkan kru pesawat bahwa kebakaran mesin telah terdeteksi. Indikator ini berhenti ketika api padam.



Gambar 4.25 Sakelar Detektor Kebakaran Engine dan APU di Panel Atas Kokpit

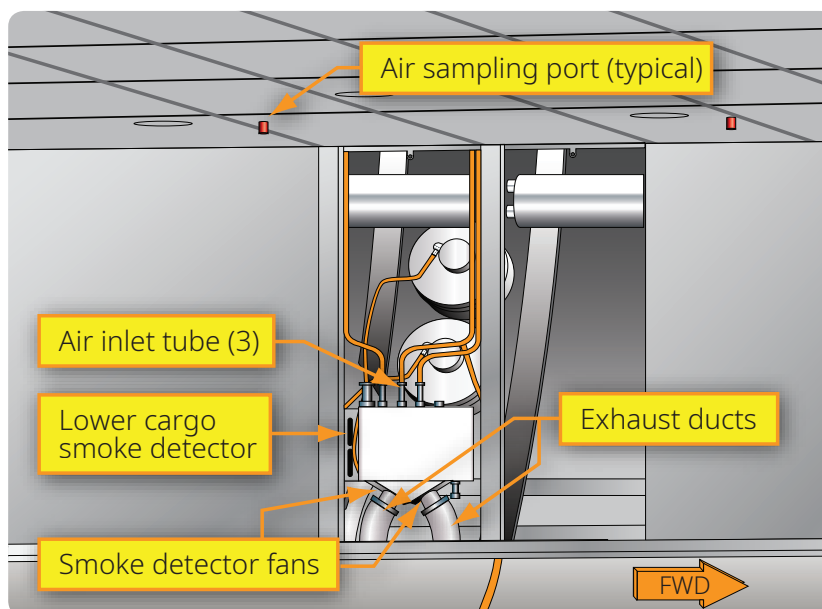
Sumber: meggitt.com (2022)

6. Sistem Pemadaman di Kompartemen Kargo

Sistem pemadam kompartemen kargo diaktifkan oleh kru pesawat jika detektor asap mendeteksi asap di kompartemen kargo. Beberapa pesawat udara dilengkapi dengan dua jenis kontainer pemadam kebakaran.

Sistem pertama adalah sistem penyemprotan langsung bahan pemadam ketika sakelar diaktifkan. Tindakan ini memadamkan api. Sistem kedua adalah sistem meteran. Setelah penundaan waktu, botol meteran perlahan menyembur pada tingkat yang terkendali melalui filter regulator. *Halon* dari botol meteran menggantikan isi botol pemadam. Botol pemadam kebakaran berisi *halon* 1301 atau setara dengan pemadam api bertekanan isi nitrogen. Pipa menghubungkan botol *nozzel* pembuangan di langit-langit kompartemen kargo.

Botol pemadaman dilengkapi dengan *squib* (bahan peledak yang dioperasikan secara elektrik). Tekanan Nitrogen dalam botol menyembrotkan *halon* ke kompartemen kargo. Ketika isi botol habis, sakelar tekanan yang diaktifkan mengirim sinyal ke kokpit bahwa isi botol telah habis. Katup kontrol aliran dimasukkan jika botol telah habis ke dalam beberapa kompartemen. Katup-katup aliran bisa bekerja untuk menyembrot ke beberapa kompartemen sekaligus. Katup aliran langsung menyembrot ke kargo yang dipilih.



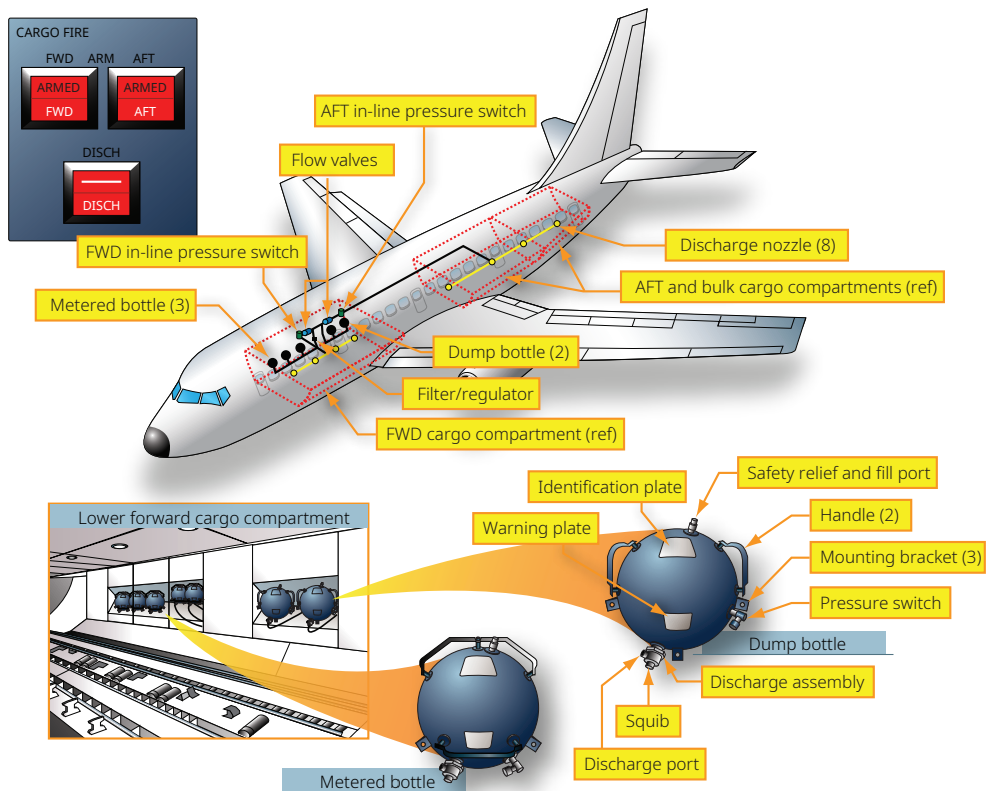
Gambar 4.26 Instalasi Detektor Asap

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Indikasi berikut terjadi di kokpit jika ada asap dalam kompartemen kargo:

- Lampu peringatan master menyala.
- Peringatan suara kebakaran beroperasi.
- Pesan peringatan kebakaran kargo terlihat.
- Lampu peringatan kebakaran kargo menyala.

Lampu peringatan master dan suara peringatan kebakaran dicegah menyala selama pesawat melakukan lepas landas.



Gambar 4.27 Sistem Pemadaman Api di Kompartemen Kargo dan Bagasi

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

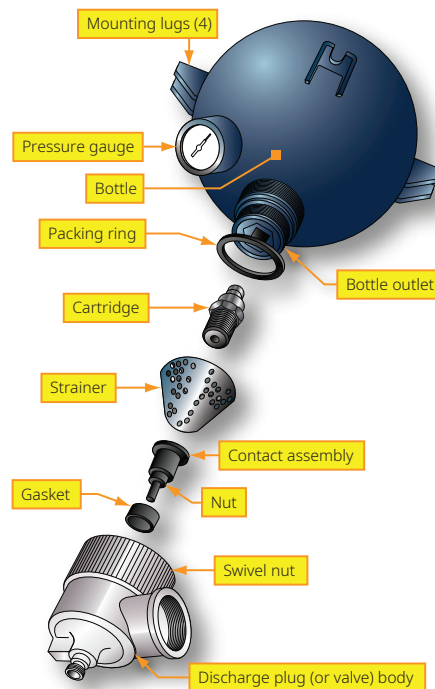
7. Maintenance

Pemeliharaan rutin sistem pemadam kebakaran biasanya mencakup pemeriksaan dan servis botol (kontainer) pemadam kebakaran, mencopot dan memasang kembali *cartridge* serta katup-katup pelepasan/pengosongan, pengujian kebocoran pipa pelepasan/pengosongan, dan tes kontinuitas kabel listrik.

Berikut rincian beberapa prosedur jenis perawatan:

- a. Pemeriksaan Tekanan Kontainer, yaitu pemeriksaan alat pemadam kebakaran secara berkala untuk menentukan bahwa batas tekanan antara minimum dan maksimum ditentukan. Perubahan tekanan dengan suhu lingkungan juga harus berada dalam batas yang ditentukan.
- b. *Discharge Cartridge*, yaitu dengan melakukan penghitungan masa pakai *cartridge*. Masa pakai dapat diketahui dengan melihat cap tanggal dari pabrik, letaknya di bagian depan *cartridge*. *Cartridge* tersedia dengan umur pelayanan lima tahun atau lebih.

- c. Penggantian *Cartridge* kontainer pemadam yang baru sekaligus dengan
- d. katup pelepasannya. Sebelum dipasang ke pesawat udara, *cartridge* harus dipasang katup pembuangan dan katup terhubung dengan kontainer, biasanya dengan cara memutar mur yang mengencangkan cincin kemasan.



Gambar 4.28 Component of Fire Extinguisher Contactor

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

- e. Pencegahan kebakaran bisa dengan mencegah terjadinya kebocoran bahan bakar, hidrolis, *de-icing*, atau cairan pelumas yang dapat menjadi sumber kebakaran di dalam pesawat udara. Kondisi ini harus dicatat dan diambil tindakan perbaikan ketika memeriksa sistem pesawat udara.

Kebocoran tekanan di cairan sangat berbahaya karena dapat dengan cepat menimbulkan ledakan di kondisi atmosfer. Hati-hati memeriksa instalasi tangki bahan bakar untuk tanda-tanda kebocoran eksternal.

Banyak cairan hidrolik yang mudah terbakar dan tidak diizinkan untuk terakumulasi dalam struktur. Material peredam suara dan barang yang tertinggal dapat menjadi sangat mudah terbakar jika terendam dengan minyak apa pun.

Kebocoran atau tumpahan cairan yang mudah terbakar di sekitar pembakaran/pemanas adalah risiko kebakaran yang serius, terutama jika uap apa pun terisap ke dalam pemanas dan melewati ruang atas pembakaran/pemanas.

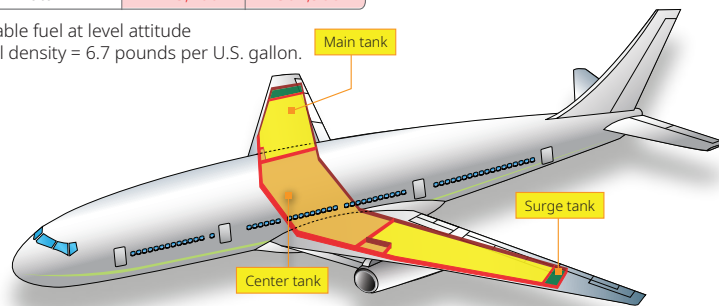
Peralatan sistem oksigen harus dijaga agar bersih dari jejak minyak atau lemak karena zat ini secara spontan menyala ketika kontak dengan oksigen bertekanan. Silinder oksigen harus ditandai dengan jelas agar tidak tertukar dengan silinder yang berisi udara atau nitrogen.

C. Sistem Bahan Bakar (ATA 28)

1. Sistem Penyimpanan Bahan Bakar

| Tank | Gallons | Pounds* |
|-----------------|---------|---------|
| Left main tank | 9,560 | 64,000 |
| Right main tank | 9,560 | 64,000 |
| Center tank | 26,100 | 174,900 |
| Total | 45,200 | 302,900 |

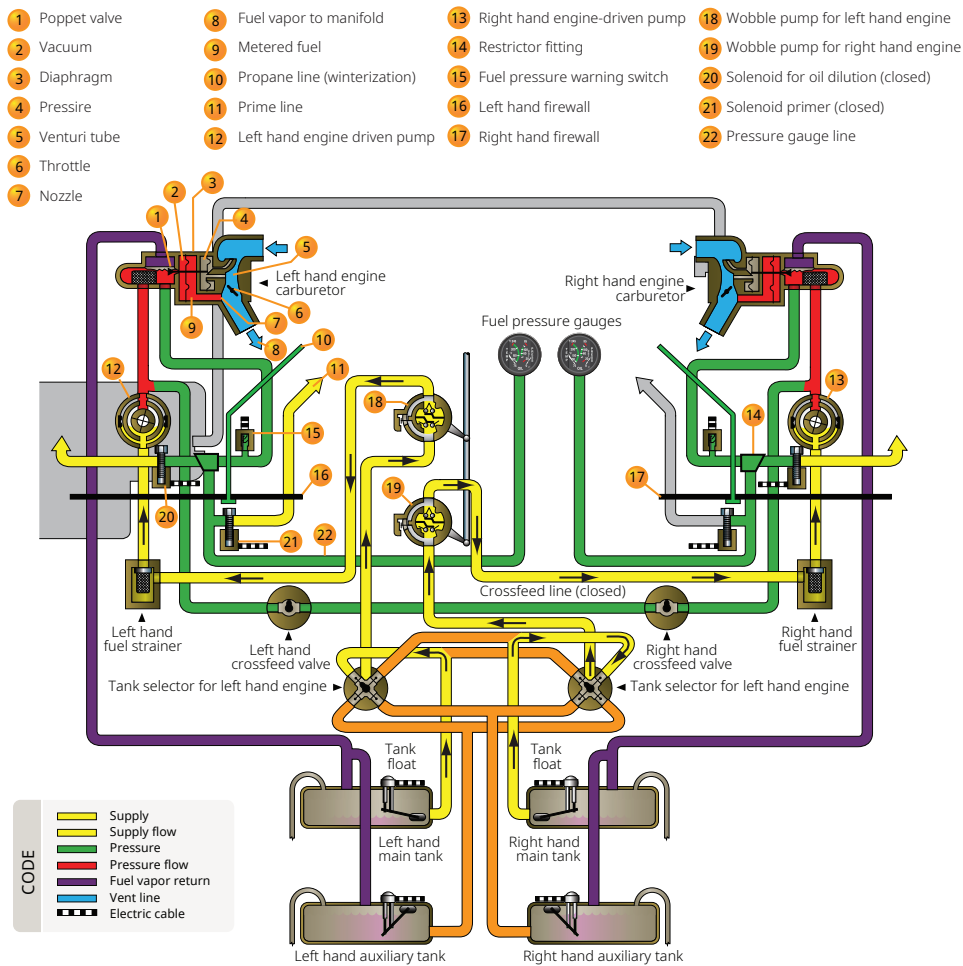
* Usable fuel at level attitude
Fuel density = 6.7 pounds per U.S. gallon.



Gambar 4.29 Lokasi Penempatan Tangki Bahan Bakar

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Kita dapat menghitung berapa liter bahan bakar yang diperlukan sebuah pesawat udara dilihat dari seberapa jauh tujuan penerbangannya dan berapa lama durasi penerbangannya.



Gambar 4.30 Skema Sistem Bahan Bakar

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Setiap tangki bahan bakar harus mampu menahan beban dalam kondisi operasi yang berat. Tak hanya anti bocor, setiap tangki diisolasi dan dilindungi dari pengaruh suhu yang tidak diinginkan. Sistem penyimpanan bahan bakar harus menyediakan bahan bakar setidaknya untuk satu setengah jam operasi pada daya dorong maksimum yang terus-menerus dan jika diperlukan mampu membuang bahan bakar dengan aman untuk pendaratan.

Tangki bahan bakar pesawat dirancang untuk mencegah hilangnya bahan bakar dari kebocoran apa pun, baik akibat transfer bahan bakar, dari saluran penyimpanannya, atau karena sistem pemasokannya, bahkan juga tidak boleh bocor meski dalam kondisi pengoperasian yang sulit.



Gambar 4.31 Sistem Pengisian Bahan Bakar
Sumber: Shutterstock.com/Jaromir Chalabala (2022)

2. Jenis Bahan Bakar Pesawat Udara

Setiap mesin pesawat udara dirancang untuk mengonsumsi bahan bakar tertentu yang ditetapkan oleh pabrik pembuatnya. Pencampuran bahan bakar tidak diizinkan.

Ada dua jenis bahan bakar pesawat:

- a. Bahan bakar mesin piston, dikenal dengan bensin atau *AVGAS*.
- b. Bahan bakar mesin turbin, dikenal dengan bahan bakar jet atau *kerosene*.

a. Bahan Bakar Mesin Piston—*AVGAS*

Mesin piston (*reciprocating*) membakar bensin yang disebut *AVGAS*. *AVGAS* dari varietas apa pun merupakan senyawa hidrokarbon yang dimurnikan dari minyak mentah dengan distilasi fraksional. Bensin ini berbeda dari bensin untuk pesawat bertenaga turbin. *AVGAS* sangat mudah menguap dan sangat mudah terbakar dengan titik nyala rendah. Sedangkan bensin untuk mesin turbin adalah sejenis minyak tanah dengan titik nyala yang jauh lebih tinggi sehingga kurang mudah terbakar.

Mesin pesawat harus bekerja di berbagai kondisi untuk menghasilkan tenaga yang signifikan dalam berbagai operasi. Bahan bakar yang digunakan harus mendukung pembakaran yang tidak terputus sepanjang rentang operasi. Selama bertahun-tahun AVGAS tersedia dalam beragam formula karena bahan bakar pesawat ini harus menghasilkan banyak energi tanpa meledak. Mesin kompresi tinggi yang lebih besar membutuhkan bahan bakar dengan jumlah potensi daya yang lebih besar tanpa detonasi mesin. Formula bahan bakar juga terus berinovasi seiring dengan kebutuhan mesin pesawat yang semakin canggih.

Mengenali Warna dan Label Bahan Bakar

Produsen pesawat dan mesin menetapkan bahan bakar yang disetujui untuk setiap pesawat dan mesin. Karena banyaknya jenis bahan bakar mengharuskan pesawat mengidentifikasi bahan bakar secara positif dan menghindari pemakaian bahan bakar yang tidak tepat.















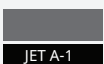


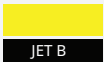
Penggunaan pewarna dalam bahan bakar membantu penerbang memantau jenis bahan bakar. AVGAS 100LL adalah AVGAS yang paling banyak tersedia dan digunakan di Amerika Serikat. AVGAS 100LL diwarnai biru. Beberapa bahan bakar dengan oktan 100 atau 100/130 mungkin masih tersedia, tetapi berwarna hijau. AVGAS 80/87 berwarna merah dan sudah tidak lagi tersedia.

AVGAS yang relatif baru, yaitu 82UL (tanpa timbal) berwarna ungu, juga telah diperkenalkan untuk digunakan kelompok mesin kompresi yang relatif rendah. AVGAS 115/145 adalah bahan bakar yang dirancang untuk mesin piston besar dan berkinerja tinggi dari era Perang Dunia II. Bahan bakar ini juga berwarna ungu, kini tersedia hanya dengan pesanan khusus.

Semua tingkatan bahan bakar jet tidak berwarna atau berwarna jerami. Hal inilah yang membedakannya dari AVGAS jenis apa pun yang mengandung pewarna. Jika bahan bakar AVGAS tidak berwarna, penyebabnya harus diselidiki. Beberapa perubahan warna mungkin tidak mempengaruhi kinerja bahan bakar. Namun di lain waktu, perubahan warna bisa menjadi sinyal bahwa bahan bakar telah tercampur atau terkontaminasi. Karena itulah, jangan pernah menerbangkan pesawat dengan bahan bakar yang tidak diketahui untuk menghindari bahaya saat pesawat dioperasikan.

Mengenali bahan bakar di tangki penyimpanan truk bahan bakar dan di tangki bahan bakar pesawat dapat dilakukan dengan melihat labelnya.

Stiker dan penandaan warna sesuai dengan warna *AVGAS* yang dipakai. Truk dan selang pengiriman juga ditandai dari tutup tangkinya dan tempat area pengisiannya. Selang pengisian bahan bakar jet berukuran terlalu besar untuk masuk lubang pengisian tangki *AVGAS*. Gambar di bawah ini menunjukkan contoh pelabelan dan kode warna bahan bakar.

| Fuel Type and Grade | Color of Fuel | Equipment Control Color | Pipe Banding and Marking | Refueler Decal |
|---------------------|--------------------|---|--|---|
| AVGAS 82UL | Purple |  |  |  |
| AVGAS 100 | Green |  |  |  |
| AVGAS 100LL | Blue |  |  |  |
| JET A | Colorless or straw |  |  |  |
| JET A-1 | Colorless or straw |  |  |  |
| JET B | Colorless or straw |  |  |  |

Gambar 4.32 Pelabelan dan Kode Warna Peralatan Pengisian Bahan Bakar

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

b. Bahan Bakar Mesin Turbin

Pesawat bermesin turbin menggunakan bahan bakar yang berbeda dari pesawat bermesin piston. Bahan bakar jenis ini biasa disebut bahan bakar jet. Bahan bakar jet khusus digunakan mesin turbin dan tidak boleh dicampur dengan *AVGAS*, juga dilarang dipakai untuk bahan bakar pesawat luar angkasa.

Karakteristik bahan bakar mesin turbin sangat berbeda dengan *AVGAS*. Bahan bakar mesin turbin adalah senyawa hidrokarbon dengan viskositas lebih tinggi, namun dengan volatilitas yang jauh lebih rendah dan titik didih yang lebih tinggi daripada bensin. Dalam proses penyulingannya, bahan bakar jet dibuat mengembun di suhu yang lebih tinggi daripada nafta atau bensin. Molekul hidrokarbon bahan bakar mesin turbin mengandung lebih banyak karbon daripada *AVGAS*.

Bahan bakar jet mempertahankan mesin menyala terus-menerus. Dibanding bensin, bahan bakar jet memiliki kandungan belerang yang lebih tinggi, dan berbagai *inhibitor* biasanya ditambahkan ke dalamnya, gunanya untuk mengontrol korosi, oksidasi, es, dan pertumbuhan mikroba serta bakteri di dalam tangki.

Meskipun beberapa negara memiliki bahan bakar uniknya masing-masing, namun secara umum di dunia ada tiga jenis bahan bakar mesin turbin, yaitu:

1) **Jet A**

Jet A adalah bahan bakar mesin turbin paling umum yang tersedia di Amerika Serikat. Secara global, Jet A-1 adalah yang paling populer.

2) **Jet A-1**

Bahan bakar Jet A dan Jet A-1 disuling secara fraksional. Memiliki volatilitas rendah dan tekanan uap yang rendah. Titik nyala berkisar antara 110 °F dan 150 °F. Jet A membeku pada -40 °F sedangkan Jet A-1 membeku pada -52,6 °F. Sebagian besar mesin pesawat mengizinkan penggunaan Jet A atau Jet A-1.

3) **Jet B**

Jet B adalah bahan bakar yang merupakan campuran minyak tanah dan bensin. Volatilitas dan tekanan uapnya berada di antara Jet A dan AVGAS. Jet B terutama tersedia di Alaska dan Kanada karena titik bekunya yang rendah sekitar -58 °F, dan volatilitasnya yang lebih tinggi menghasilkan kinerja yang lebih baik pada cuaca dingin.

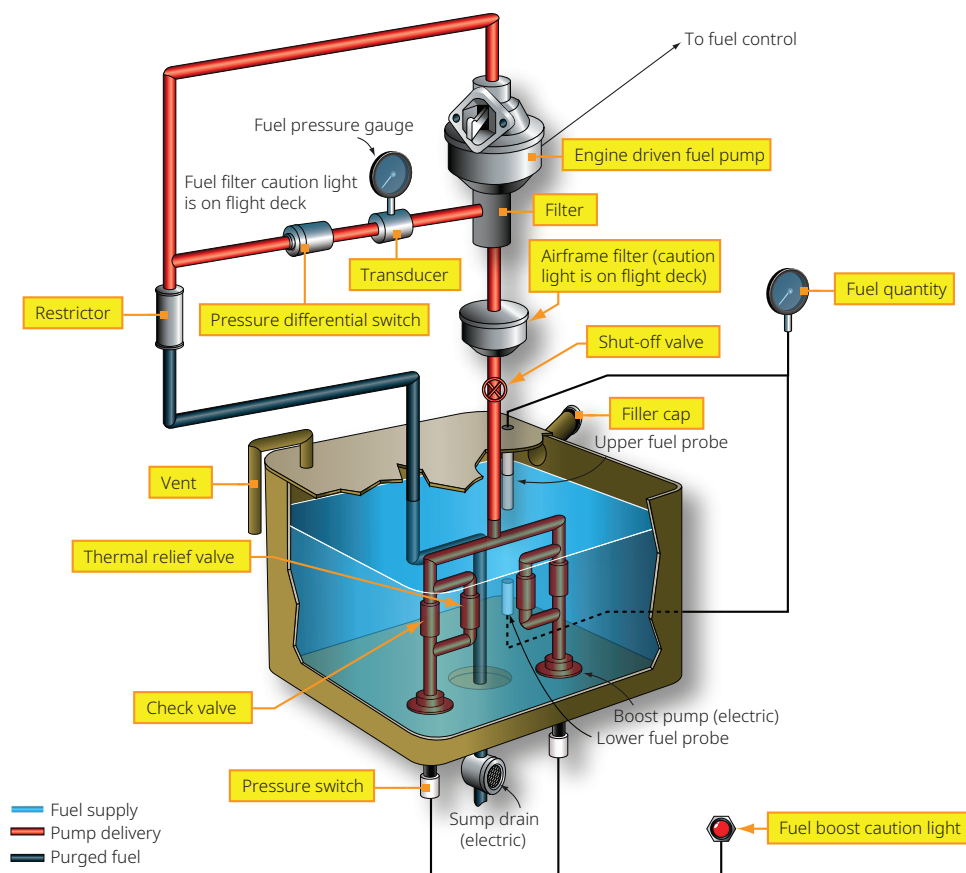
3. Bahan Bakar Pesawat Bermesin Tunggal

Setiap pabrik merancang sistem bahan bakarnya sendiri. Sistem bahan bakar inilah yang dipakai di lapangan. Setiap sistem bahan bakar pesawat harus menyimpan dan mengirimkan bahan bakar bersih ke mesin pada tekanan dan laju aliran yang mampu mempertahankan operasi pesawat di berbagai kondisi penerbangan.

Sistem bahan bakar pesawat bermesin tunggal kecil bervariasi tergantung dari lokasi tangki dan metode pengukuran bahan bakar ke mesin. Sistem bahan bakar pesawat sayap tinggi berbeda dari pesawat sayap rendah. Sistem bahan bakar pesawat dengan mesin berkarburator berbeda dengan pesawat bahan bakar injeksi.

Ada tiga tipe dasar tangki bahan bakar pesawat, yaitu tangki yang dapat dilepas (*rigid removable tanks*), tangki bladder (*bladder tanks*), dan tangki terpadu (*integral fuel tanks*).

Jenis pesawat, desain dan tujuan penggunaan, serta usia pesawat menentukan tangki bahan bakar yang dipasang di pesawat. Sebagian besar tangki terbuat dari bahan *non-korosif*. Tangki bahan bakar pesawat memiliki area rendah yang disebut *drain sump* yang didesain sebagai tempat mengendapnya kotoran dan air. Untuk menghilangkan kotoran, pengurasan tangki dilakukan dengan membuka katup *drain sump* setiap inspeksi sebelum penerbangan berlangsung.



Gambar 4.33 Sistem Bahan Bakar Bertekanan di Helikopter Bermesin Turbin Ringan

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

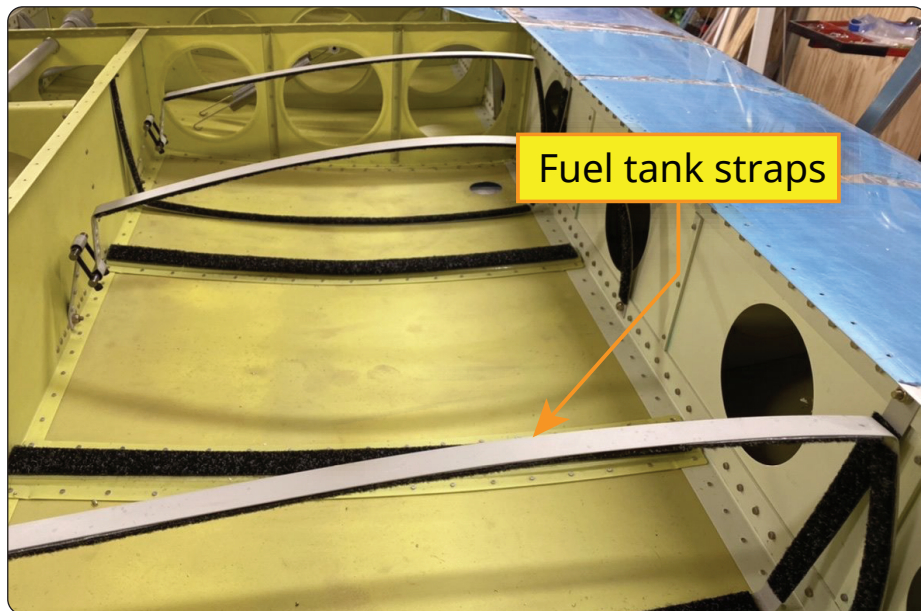
Sebagian besar tangki bahan bakar pesawat memiliki semacam penyekat untuk menahan bahan bakar agar tidak cepat bergeser selama manuver

penerbangan. Penggunaan *scupper* untuk mengalirkan bahan bakar yang tumpah juga umum digunakan.

a. Tangki yang Dapat Dilepas (*Rigid Removable Fuel Tanks*)

Pesawat-pesawat tua menggunakan model tangki *rigid removable* untuk konstruksi tangki bahan bakarnya. Tangki dipasang di badan pesawat dan ditahan di tempatnya dengan anyaman tali agar tidak bergeser selama penerbangan berlangsung.

Sayap adalah lokasi paling populer untuk tangki bahan bakar. Gambar berikut menunjukkan ruang tangki bahan bakar di pangkal sayap diikat tali. Ada juga tangki yang dibentuk menyatu dengan ujung depan sayap. Dirakit dengan menggunakan pengelasan listrik.

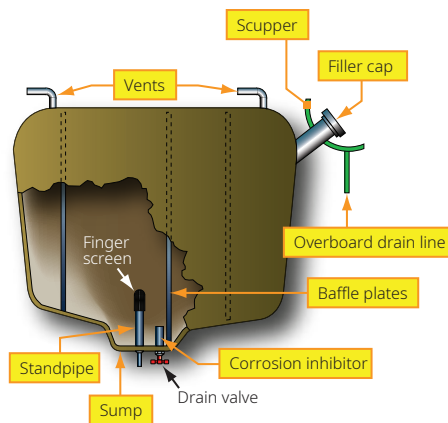


Gambar 4.34 Tangki Bahan Bakar di Sayap Pesawat Kecil

Sumber: webuildplanes.com (2020)

Biasanya tangki model ini terbuat dari aluminium paduan 3003 atau 5052, atau baja tahan karat yang dipaku dan dilas untuk mencegah kebocoran. Banyak produksi tangki awalnya terbuat dari baja lembaran tipis yang dilapisi dengan paduan timbal atau timah yang disebut *terneplate*.

Bagian-bagian dari tangki bahan bakar jenis *rigid removable* dan komponen-komponennya bisa dilihat pada gambar berikut.

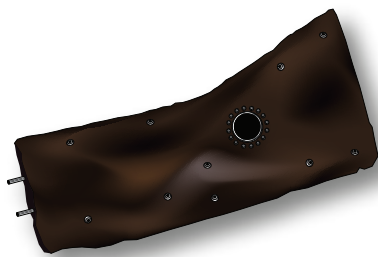


Gambar 4.35 Tangki Bahan Bakar Jenis *Rigid Removable*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Tangki bahan bakar pesawat modern selain dari aluminium ada juga yang terbuat dari baja dan baja anti karat.

b. Tangki *Bladder*



Gambar 4.36 Tangki *Bladder* untuk Pesawat Ringan

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

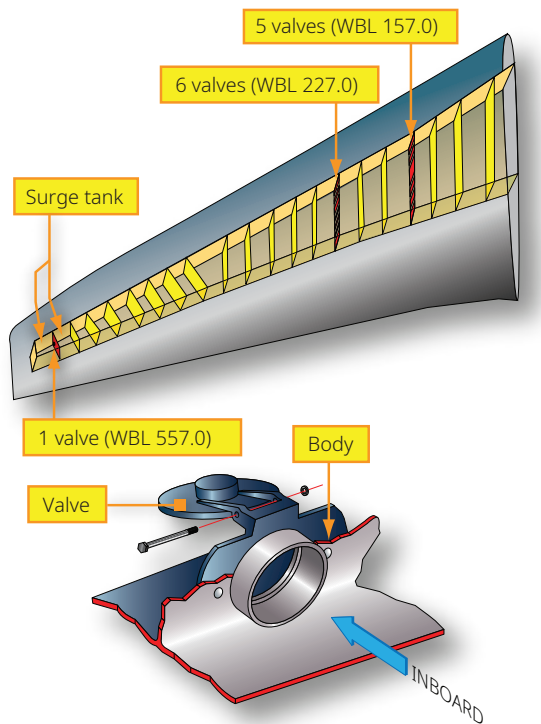
Dinamakan tangki bladder karena bentuknya mirip *bladder* (kandung kemih manusia). Gambar di bawah ini merupakan tangki dari bahan fleksibel yang diperkuat dan dapat digunakan sebagai pengganti tangki *rigid removable*.

Fitur dan komponen tangki *bladder* sebagian besar sama dengan tangki *rigid removable*, tetapi tidak memerlukan lubang besar di kulit pesawat untuk memasangnya. Tangki ini dipasang ke struktur dengan klip/ pengikat, digulung lalu dimasukkan ke dalam rongga struktural yang disiapkan khusus. Begitu masuk, bisa dibentangkan hingga seukuran penuh. Tangki harus rebah dengan baik dan tidak berkerut di dasarnya supaya kotoran mengendap dengan baik.

c. Tangki Terpadu (*Integral Fuel Tanks*)

Tangki ini disebut tangki terpadu karena tangki terbentuk sebagai satu kesatuan dalam struktur badan pesawat.

Di banyak pesawat, terutama pesawat kategori angkut dan pesawat berperforma tinggi, bagian dari struktur sayap atau badan pesawat disegel dengan dua lapis *sealant* yang tahan bahan bakar untuk membentuk ruang bahan bakar.



Gambar 4.37 Integral Fuel Tanks

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Gambar di atas menunjukkan katup penyekat dipasang di lokasi yang ditunjukkan oleh struktur rangka tangki integral pesawat Boeing 737. Bahan bakar dicegah mengalir keluar kapal selama manuver. Pompa pendorong tangki terletak di dalam WBL 157.

4. **Dumping, Venting, and Draining (Pembuangan, Ventilasi, dan Pengurasan)**

Operasi pembuangan bahan bakar harus dikoordinasikan dengan petugas pengontrol lalu lintas udara demi keselamatan pesawat udara lain yang berada di daerah tersebut. Pembuangan bahan bakar biasanya dilakukan di ketinggian yang cukup agar bahan bakar dapat menghilang sebelum mencapai daratan. Bahan bakar yang dibuang melalui titik tertentu di sayap biasanya lebih dekat dengan ujung sayap dan jauh dari mesin.



Gambar 4.38 Dump Nozzle Airbus A340-311
Sumber: wikipedia.org/Lahiru K (2007)

Pesawat memiliki saluran buang untuk mengantisipasi keberadaan air. Air di dalam sistem bahan bakar pesawat udara dapat menyebabkan korosi komponen dalam sistem dan mengganggu operasi mesin. Air dapat masuk melalui tutup bahan bakar yang tidak terpakai atau saluran ventilasi di tangki akibat perubahan suhu udara luar atau posisi pesawat udara naik dan turun.

Standar keamanan pembuangan air pesawat udara setidaknya harus memenuhi dua kondisi sebagai berikut.

1. Setiap tangki bahan bakar harus memiliki *drainable sump* (karter yang dapat membuang) dengan kapasitas yang efektif, dalam sikap normal di darat dan terbang.
2. Setiap tangki bahan bakar harus mampu menguras air dari tangki ke kuarter (*sump*) saat pesawat udara dalam sikap *ground* normal.

Ketika pesawat digunakan untuk operasi di lahan pertanian, pesawat udara sering terbang di segala cuaca sehingga sering ditemukan sejumlah air di dalam tangki. Setidaknya harus tersedia satu saluran yang memungkinkan drainase sistem bahan bakar yang aman saat normal di darat. Sayangnya, pengalaman selama ini mencatat beberapa pesawat udara tidak memiliki fasilitas yang memuaskan untuk menguras air. Ada pula bukti beberapa pesawat udara yang beberapa tangki cadangannya tidak memiliki fasilitas saluran air yang cocok. Akhirnya, timbul korosi akibat adanya air di dalam bahan bakar.

Ketika pesawat mengudara, bagian *sump* di tangki adalah titik terendah, tetapi ketika pesawat berada di darat (ekor ke bawah) *sump* bukanlah titik terendah di tangki bahan bakar.

Sistem bahan bakar harus diperiksa setiap 100 jam tindakan pemeliharaan. Salah satu cara menguji fasilitas pembuangan air adalah dengan menambahkan sejumlah air ke dalam tangki saat pesawat berada di bidang yang datar dan sikap pesawat dalam sikap darat normal. Jumlah air yang sama kemudian harus pindah ke *sump tank*, lalu dikuras dari pesawat. Apabila ada sejumlah air yang hilang tak terduga merupakan bukti bahwa sistem bahan bakar tidak memenuhi kriteria pengurasan.

D. Hydraulic Power System (ATA 29)

Dengan cara apa pilot menaikkan dan menurunkan *landing gear* yang besar dan berat? Apakah membutuhkan tenaga yang besar? Tenaga dari mana?

Sistem hidrolik di pesawat terbang adalah sistem yang menggunakan tekanan zat cair sebagai media untuk menggerakkan sistem-sistem yang berkaitan dengan komponen-komponen lain, contohnya untuk menggerakkan *ground spoilers*, *flight spoilers*, *landing gear*, *nose gear steering*, *trailing edge flaps*, *leading edge devices*, *ailerons*, *elevators*, *landing gear brakes*, *rudder*, dan *thrust reverser*.

Jadi, secara sederhana dapat diartikan bahwa sistem hidrolik adalah perangkat konversi energi yang dapat melipatgandakan tenaga (*output*) secara efisien melalui bantuan zat cair. Keunggulan sistem hidrolik ini adalah tenaga yang kita butuhkan untuk menggerakkan *flight control* menjadi lebih ringan, sehingga seorang pilot tidak perlu mengeluarkan tenaga yang besar dalam menggerakkan *control coulom*.

1. Komponen Utama Sistem Hidrolik

Beberapa komponen utama yang digunakan sistem hidrolik adalah sebagai berikut.

- a. Reservoir; berfungsi sebagai tangki penampungan cairan hidrolik yang terdiri dari tiga reservoir, yaitu masing-masing untuk *System A*, *System B*, dan *Standby System*.
- b. Pompa Hidrolik; berfungsi mengisap dan menyalurkan (memompa) tekanan hidrolik ke sistem.
- c. *Pressure Modul*; berfungsi mengatur dan mengolah tekanan hidrolik yang keluar dari pompa hidrolik sebelum masuk ke subsistem.

- d. *Return Modul*; berfungsi mengolah tekanan hidrolik setelah digunakan oleh sistem.
- e. *Case Drain*; berfungsi mengalirkan tekanan hidrolik langsung ke *return modul* melalui *heat exchanger* ketika tekanan hidrolik tidak lagi digunakan oleh sistem.
- f. *Heat Exchanger*; berfungsi mendinginkan cairan hidrolik yang mengalir *case drain*.
- g. *Ground Interconnect Valve*; berfungsi menghubungkan atau mengalirkan tekanan hidrolik dari hidrolik sistem B ke hidrolik sistem A saat di darat.
- h. *Hydraulic Shut Off Valve*; berfungsi memutuskan aliran dari tekanan hidrolik.
- i. *Hydraulic Panel*; berfungsi mengontrol dan mengoperasikan sistem hidrolik.
- j. *Check Valve*; berfungsi mencegah aliran balik.
- k. *Relief Valve*; berfungsi membuang tekanan hidrolik berlebih.
- l. *Balance Line*; berfungsi sebagai penghubung *pneumatic bleed air* dari reservoir sistem A ke reservoir sistem B dan *reservoir standby system*.

Sistem hidrolik di pesawat modern digunakan untuk menggerakkan *landing gear system*, sistem rem, *wing flaps*, *ram door system*, *speed brake*, *flight control surface*, dan mengontrol pergerakan propeler.

Keuntungan menggunakan sistem hidrolik di antaranya yaitu dapat mengoperasikan berbagai sistem dalam pesawat terbang, beratnya relatif ringan, instalasinya relatif mudah, dan pemeliharaan/pemeriksaan mudah.

Adapun kerugian menggunakan sistem ini dapat dikatakan tidak ada, walaupun terjadi sedikit tenaga yang hilang, jika terjadi panas akibat gesekan cairan hidrolik, namun dengan instalasi dan bahan-bahan yang baik hal ini dapat diabaikan.

2. Cairan Hidrolik (*Hydraulic Fluida*)

Fungsi utama cairan hidrolik untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga ke berbagai macam unit yang akan digerakkan. Cairan hidrolik juga berfungsi sebagai media pelumasan yang dapat mengurangi gesekan di bagian komponen yang bergerak. Cairan hidrolik ini dapat menjalankan fungsi-fungsi tersebut karena sifatnya yang nyaris tidak berubah/mengecil (*incompressible*).

a. Jenis-Jenis Cairan Hidrolik

1) *Vegetable Base* (Cairan Hidrolik dari Tumbuh-Tumbuhan)

- Kode : MIL-H-7644
- Komposisi : *Caster oil* dan alkohol
- Sifat : Berbau alkohol, mudah terbakar
- warna : Biru
- Seal* : Bahan *sealing* terbuat dari bahan alami karet, mempunyai sifat tidak tahan terhadap minyak hidrolik selain *vegetable base*. Jadi, jika terkontaminasi dengan minyak hidrolik lain, maka *sealing* akan mengalami kerusakan.

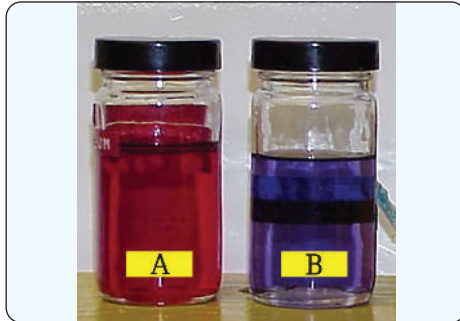
2) *Mineral Base Oil*

- Kode : MIL-H- 5606
- Komposisi : Merupakan produk dari minyak bumi.
- Sifat : Mudah terbakar, tidak beracun, jarak jelajahnya rendah, berguna sebagai pelumas, tidak bersifat merusak.
- warna : Merah, banyak digunakan terutama pada sistem yang tidak menimbulkan api, seperti *flap dive system* dan *shock strut*.
- Seal* : Bahan *sealing* terbuat dari bahan karet sintesis/ Buna – N, jika terkontaminasi dengan minyak hidrolik lain, *sealing* akan mengalami kerusakan.

2) *Fosfat Ester Base Fluid* (Cairan Hidrolik dari Bahan Sintetis)

- Kode : Skydrol 500 B / Skydrol- LD
- Komposisi : Non Petroleum
- Sifat : Tahan panas dan tahan api s/d 6000 F. Skydrol 500 B baik digunakan pada temperatur rendah dan memiliki efek samping yang kecil terhadap korosi. Adapun Skydrol – LD, *low weight fluid*, digunakan di pesawat jet transport yang menjadikan berat sebagai faktor utama.
- warna : Ungu cerah (*Clear Purple*)

Seal : Dibuat dari bahan *Butyl Rubber* atau *Ethylene – Propylene Elastomer*



Gambar 4.39 A. Cairan Hidrolik Berbahan Dasar Mineral (*Mineral Based Hydraulic*)
B. Cairan Hidrolik Berbahan Dasar Sintetik (Skydrol)

Sumber: foramehelp.blogspot.com (2014)



Gambar 4.40 Contoh Cairan Hidrolik Type Skydrol

Sumber: skygeek.com (2022)

b. Penanganan Cairan Hidrolik

Cairan skydrol jika terkena kulit dapat menyebabkan gatal dan perih, apabila terkena mata akan menyebabkan perih di mata. Namun, cairan skydrol tidak menyebabkan kerusakan permanen. Tindakan pengobatan pertama untuk kontak mata adalah segera membilas mata dengan air mengalir dan obat tetes mata. Jika rasa sakit berlanjut, harus ditangani oleh dokter.

c. Kontaminasi Cairan Hidrolik

Apabila terjadi kontaminasi, kerusakan dalam sistem hidrolik sulit diketahui. Besarnya kerusakan tergantung pada jenis kontaminasinya.

Secara garis besar ada dua macam kontaminasi:

- 1) *Abrasives*, yaitu kontaminasi yang disebabkan masuknya partikel-partikel kecil seperti pasir, kerikil kecil, percikan bekas las, serbuk gerinda, dan debu.
- 2) *Non-abrasive*, yaitu kontaminasi yang disebabkan terjadinya oksidasi minyak dan partikel-partikel kecil akibat kerusakan atau keausan dari *seal-seal* atau komponen organik dalam sistem.

d. Pengontrolan Kontaminasi

Filter merupakan alat pengontrol kontaminasi yang cukup efektif. Untuk menjaga agar tidak terjadi kontaminasi, maka selama pelaksanaan pemeliharaan, perbaikan, atau servis lainnya harus dilaksanakan secara hati-hati dan sesuai prosedur yang telah ditetapkan. Beberapa prosedur yang harus ditaati antara lain:

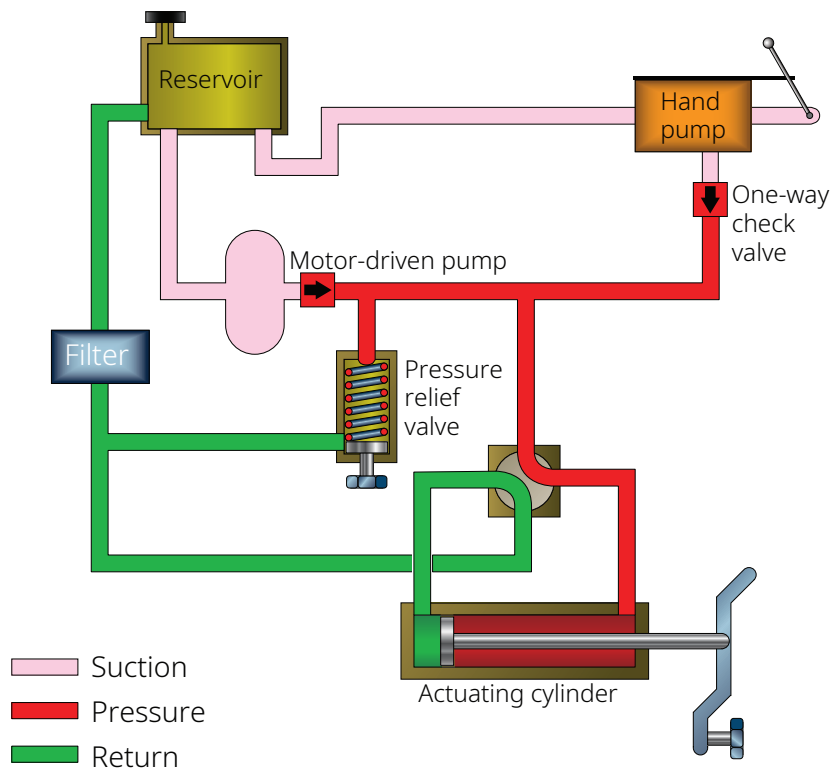
- 1) Menjaga semua alat dan daerah kerja berada dalam kondisi bersih; bebas dari debu dan kotoran.
- 2) Harus selalu tersedia bak penampung tumpahan minyak hidrolik saat dilaksanakan pembongkaran/pelepasan komponen sistem hidrolik.
- 3) Sebelum melepas pipa saluran hidrolik atau sambungan, bersihkan daerah tersebut dengan *dry cleaning solvent*.
- 4) Semua pipa saluran hidrolik dan sambungan agar ditutup setelah dilepas/dibuka.
- 5) Semua komponen yang akan dipasang pada sistem hidrolik harus dibersihkan sebelumnya dengan *dry cleaning solvent*.
- 6) Setelah dicuci dan dikeringkan, bersihkan dengan lap kain *clean lint free*, kemudian lumasi komponen tersebut dengan minyak hidrolik secara merata, barulah komponen tersebut dapat dipasang.
- 7) Semua *seal* dan *gasket* yang sudah dibongkar/dilepas harus dibuang dan diganti baru.
- 8) Semua komponen harus dipasang secara hati-hati, sambungan-sambungan *fitting* harus dikencangkan dan sesuai ukuran yang telah ditetapkan.
- 9) Semua peralatan hidrolik sistem agar dijaga bersih.

3. Sistem Hidrolik Dasar

Sistem Hidrolik Dasar dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Sistem hidrolik dasar dengan pompa tangan (*Basic hydraulic system with hand pump*)
- b. Sistem hidrolik dasar dengan pompa daya (*Basic hydraulic system with power pump*)

a. Sistem Hidrolik Dasar dengan Pompa Tangan



Gambar 4.41 Sistem Hidrolik Dasar dengan Pompa Tangan

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Komponen Sistem Hidrolik Dasar Pompa Tangan

- 1) *Reservoir*
- 2) Pompa Tangan (*Hand pump*)
- 3) *Pressure line*
- 4) Katup Selektor
- 5) *Working line*
- 6) *Actuating unit*
- 7) *Return line*

1) *Reservoir*

Reservoir berfungsi:

- Tempat menampung minyak hidrolik.
- Menyalurkan minyak hidrolik ke sistem.

- Menampung pengembalian minyak hidrolik dari sistem.
- Menyediakan ruang untuk pengembangan minyak hidrolik akibat terjadinya ekspansi panas.
- Menyediakan lubang ventilasi atau *bleeding air*.

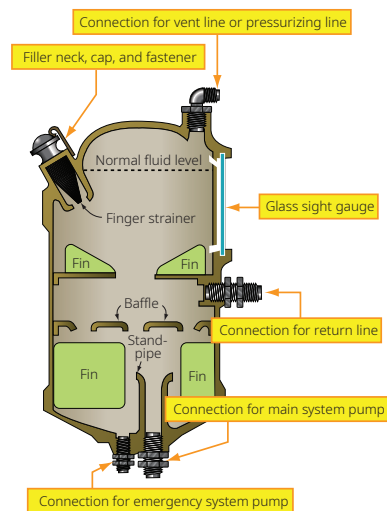
Ada dua jenis reservoir, yaitu:

- Inline*; tipe ini memiliki rumah tersendiri dan terpasang bersama komponen yang lain dalam sistem dengan sambungan pipa metal atau pipa karet.
- Integral*; tipe ini tidak memiliki rumah sendiri, tetapi merupakan ruangan yang berada di beberapa *major component* untuk menampung minyak hidrolik.

Contoh paling sederhana tipe integral adalah *reservoir* yang digunakan pada *brake master cylinder system*, yaitu yang digunakan pada sistem rem mobil dengan menampung minyak hidrolik di sebuah reservoir yang merupakan bagian dari *brake master cylinder*. Sistem hidrolik pesawat terbang jarang menggunakan jenis reservoir ini.

Dalam sebuah *inline reservoir*, suatu ruangan disisakan di atas batas normal minyak hidrolik untuk ekspansi minyak hidrolik dan pelepasan udara yang terperangkap di dalam *reservoir* atau sistem. Minyak hidrolik di dalam *reservoir* tidak pernah diisi sampai penuh. Kebanyakan bibir *reservoir* dirancang sedemikian rupa untuk menghindari pengisian yang berlebihan pada waktu diservis/diisi.

Pemeriksaan isi minyak hidrolik di dalam *reservoir* menggunakan sebuah *dipstick* (tongkat pengukur) atau sebuah *glass sight gauge* (gelas kaca pengukur) sehingga batas permukaan minyak hidrolik dapat dilihat dengan jelas.



Gambar 4.42 *Reservoir In-Line*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Reservoir ada yang mempunyai ventilasi udara, ada yang tertutup rapat atau *pressurized*. Di *reservoir* berventilasi, tekanan udara luar dan gravitasi merupakan tenaga yang mendorong minyak hidrolik mengalir dari *reservoir* ke pompa. Di kebanyakan sistem hidrolik pesawat, tekanan atmosfer dan gravitasi ini merupakan tekanan pokok yang menyebabkan minyak hidrolik mengalir ke pompa. Namun di beberapa jenis pesawat, tekanan atmosfer dan gravitasi menjadi terlalu kecil/lemah untuk menyuplai minyak hidrolik ke pompa. Oleh karena itu, *reservoir* harus diberi tekanan tambahan untuk membantu mengalirkan minyak hidrolik ke pompa.

Sistem tenaga fluida yang memungkinkan cairan dalam sistem tetap bertekanan dari pompa (regulator) ke katup selektor saat pompa beroperasi disebut sebagai sistem *close-centre*. Dengan sistem semacam ini, sejumlah subsistem dapat dimasukkan dengan katup selektor terpisah untuk masing-masing subsistem. Katup selektor disusun secara paralel sehingga tekanan sistem bertindak sama ke semua katup selektor.

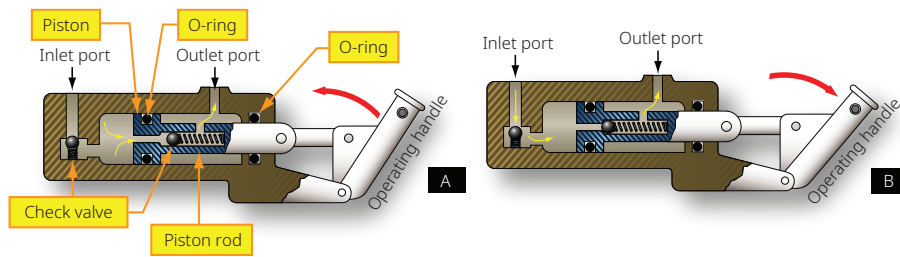
Tipe lain dari sistem tenaga yang terkadang digunakan dalam mengoperasikan peralatan hidrolik adalah sistem *open-centre*. Sistem *open-centre* memiliki aliran fluida, tetapi tidak ada tekanan internal ketika mekanisme penggerak menganggur. Pompa mendorong cairan dari *reservoir*, melalui katup selektor lalu kembali ke *reservoir*. Seperti sistem *close-centre*, sistem *open-centre* mungkin memiliki sejumlah subsistem, dengan katup selektor untuk masing-masing subsistem.

Berbeda dengan sistem *close-centre*, katup selektor dari sistem *open-centre* selalu dihubungkan secara seri satu sama lain, pengaturan berjalan melalui setiap katup selektor. Fluida selalu diizinkan mengalir melewati setiap katup selektor dan kembali ke *reservoir* sampai salah satu dari katup selektor diposisikan untuk mengoperasikan mekanisme.

Tugas utama *reservoir* adalah menyimpan pasokan cairan hidrolik untuk pengoperasian sistem. Dalam hal ini mengisi ulang cairan sistem bila diperlukan, menyediakan ruang untuk ekspansi termal, dan dalam beberapa sistem menyediakan sarana untuk pengembangan/ekspansi udara.

2) Pompa Tangan (*Hand pump*)

Di pesawat-pesawat tua pompa tangan dua aksi digunakan sebagai unit cadangan. Pompa tangan ini akan menghasilkan aliran fluida dan tekanan pada setiap *stroke*.



Gambar 4.43 Pompa Tangan Dua Aksi (*Double Action Hand Pump*)

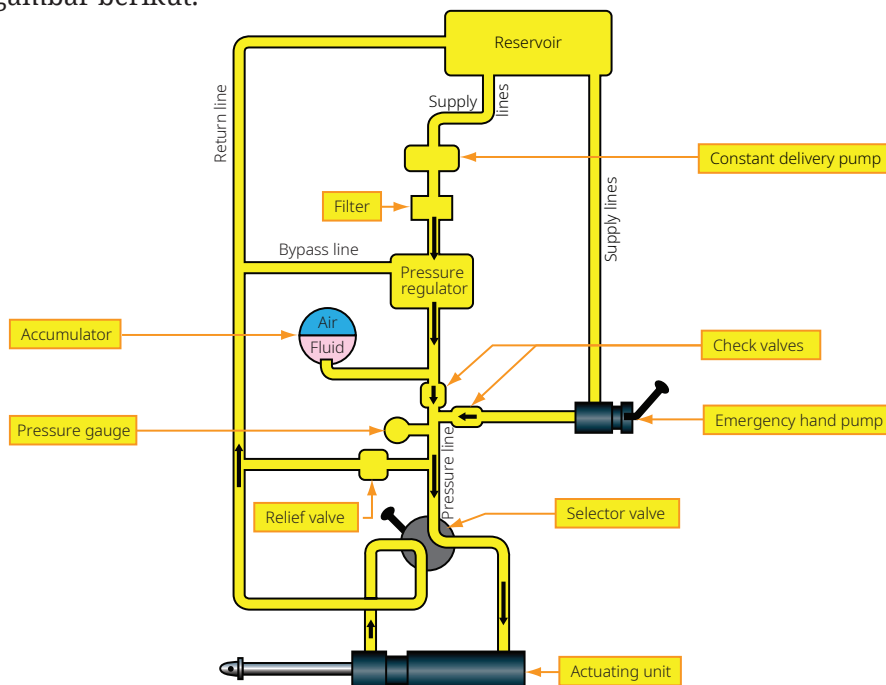
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Sebuah pompa diperlukan untuk menciptakan aliran fluida. Pompa ini dioperasikan oleh tangan, namun dalam sistem pesawat digerakkan oleh motor listrik.

Katup selektor digunakan untuk mengarahkan aliran fluida. Katup ini digerakkan oleh solenoid atau dioperasikan secara manual, baik secara langsung atau tidak langsung melalui penggunaan hubungan mekanis.

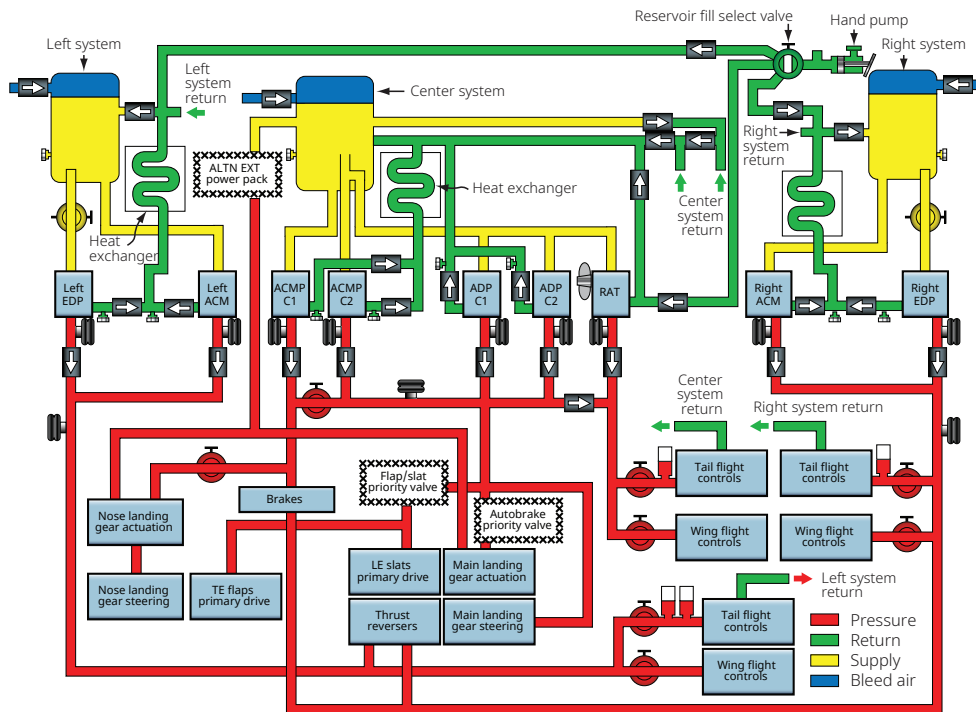
b. Sistem Hidrolik Dasar dengan Pompa Daya

Prinsip kerja sistem hidrolik dasar dengan pompa daya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.44 Sistem Hidrolik Dasar dengan Pompa Daya

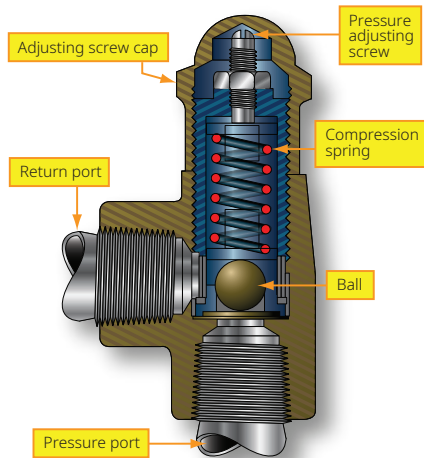
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)



Gambar 4.45 Rangkaian Sistem Hidrolik dengan Pompa Daya di Pesawat Besar

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

a) *Relief Valve Pressure*



Gambar 4.46 Relief Valve

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

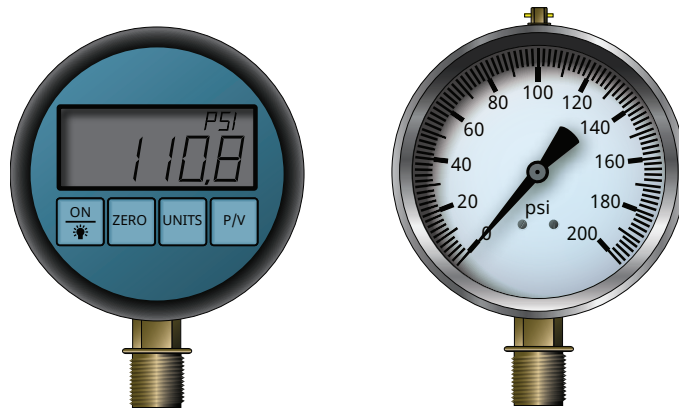
Semua sistem hidrolik yang memiliki pompa hidrolik menggunakan *relief valve* sebagai alat pengaman. *Relief Valve* juga digunakan untuk meringankan tekanan berlebih yang mungkin ada karena ekspansi termal dari fluida.

b) Regulator Tekanan (*Pressure Regulator*)

Tujuan penggunaan regulator tekanan adalah mengelola hasil pompa untuk mempertahankan tekanan sistem operasi dalam kisaran yang telah ditentukan.

c) Tekanan Gauge (*Pressure Gauge*)

Tujuan alat ukur ini adalah untuk mengukur tekanan dalam sistem hidrolik, digunakan untuk mengoperasikan unit hidrolik pada pesawat.



Gambar 4.47 *Pressure Gauge / Pengukur Tekanan*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

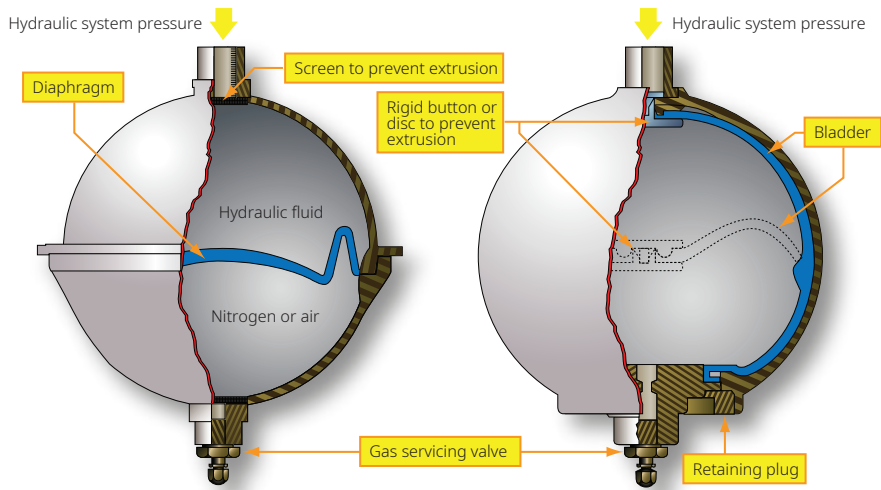
d) Akumulator

Akumulator adalah bola baja yang dibagi menjadi dua ruang oleh diafragma karet sintetis. Ruang atas berisi cairan pada tekanan sistem, sedangkan ruang bawah diisi dengan udara.

Fungsi akumulator yaitu:

- (1) Menyimpan daya untuk operasi terbatas unit hidrolik ketika pompa (*power pump*) tidak beroperasi.
- (2) Memberikan pasokan cairan hidrolik apabila terjadi kebocoran pada sistem hidrolik.

Diafragma jenis akumulator terdiri dari dua bagian logam setengah bola berongga diikat bersama-sama di tengah. Salah satu bagian tersebut memiliki pas untuk dipasang unit ke sistem, setengah lainnya dilengkapi dengan katup udara untuk pengisian udara terkompresi. Di tengah diafragma dipasang karet sintetis yang membagi tangki menjadi dua kompartemen.

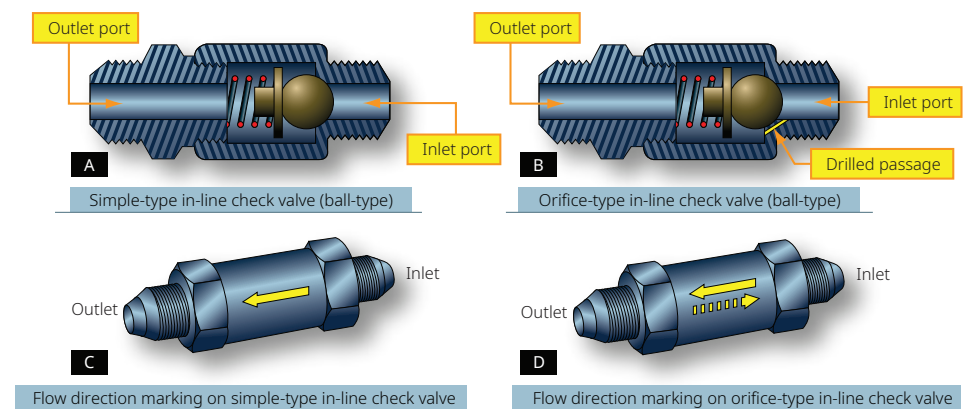


Gambar 4.48 Akumulator Tipe Diafragma

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

e) Katup Satu Arah (*Check Valve*)

Katup satu arah berfungsi mencegah aliran balik. Katup ini digunakan dalam sistem hidrolik dan pneumatik. Cara kerjanya, ketika fluida memasuki lubang (*port*) kiri dari katup, tekanan fluida memaksa katup terbuka dan memungkinkan fluida mengalir keluar dari lubang kanan. Tetapi, jika fluida masuk dari kanan, tekanan fluida menutup katup, mencegah aliran fluida keluar *port* kiri. Dengan demikian, tidak ada aliran yang balik. Jadi, *check valve* merupakan katup kontrol aliran satu arah.



Gambar 4.49 Katup Satu Arah/*Check Valve*

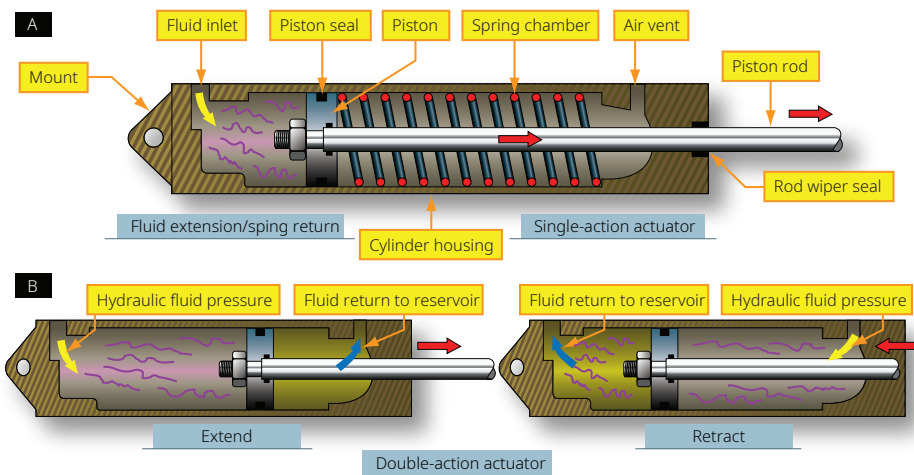
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

f) Silinder Aktuator (Silinder Penggerak)

Silinder aktuator mengubah energi tekanan fluida menjadi gerakan mekanik. Hal ini digunakan untuk memberikan gerak linier bertenaga ke beberapa objek bergerak. Sebuah silinder aktuator terdiri rumah silinder, satu atau lebih piston dan batang piston, dan beberapa segel (*seal*).

Segel (*seal*) berfungsi mencegah kebocoran antara piston dan lubang silinder, juga antara batang piston dan ujung silinder. Rumah silinder (*cylinder housing*) dan batang piston memiliki ketentuan untuk pemasangan, yaitu untuk dipasang ke suatu benda atau mekanisme yang akan digerakkan oleh silinder aktuator.

Silinder aktuator terdiri dari dua jenis utama, yaitu *single-action* dan *double-action*. Aktuator *Single-action* (satu *port*) merupakan silinder penggerak yang mampu menghasilkan gerakan bertenaga dalam satu arah saja, sedangkan *double action* (dua *port*) silinder penggerak mampu menghasilkan gerakan bertenaga dalam dua arah.

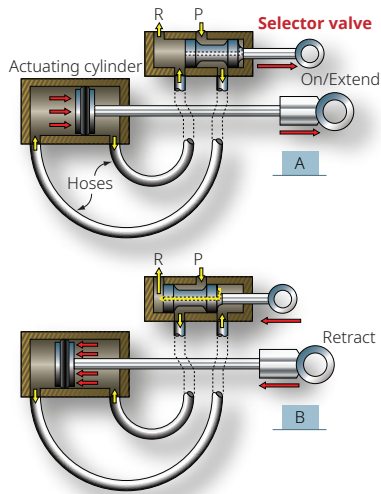


Gambar 4.50 Aktuator *Single-Action* dan *Double-Action*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Langkah kerja aktuator penggerak tunggal dimulai ketika fluida ditekan memasuki *port* di sebelah kiri hingga mendorong permukaan piston dan memaksa piston bergerak ke kanan. Begitu piston bergerak, udara dipaksa keluar melalui lubang ventilasi dan menekan pegas. Ketika tekanan fluida dilepaskan ke pegas, pegas mendorong piston ke kiri. Begitu piston bergerak ke kiri, fluida dipaksa keluar dari *port*. Pada saat yang sama, piston bergerak menarik udara ke dalam pegas melalui lubang ventilasi.

g) Katup Selektor (*Selector Valve*)



Gambar 4.51 Katup Selektor (*Selector Valve*)
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–
Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Katup selektor digunakan untuk mengontrol arah pergerakan unit penggerak. Katup selektor menyediakan jalur untuk cairan hidrolik keluar masuk secara terus-menerus dari unit penggerak terhubung. Katup selektor juga dapat membalikkan arah gerakan cairan.

Satu *port* dari katup selektor terhubung dengan sistem tekanan untuk memasukkan fluida bertekanan. *Port* kedua terhubung ke saluran sistem pengembalian untuk mengembalikan fluida ke *reservoir*. Keluar masuk fluida melewati *port* dihubungkan oleh katup selektor.

E. Landing Gear System

Bagaimana caranya pesawat bisa bergerak di landasan sebelum *take off*? Dengan apa pesawat tersebut melakukan pendaratan? Alat apa saja yang diperlukan selama pesawat melakukan pergerakan di darat? Apa yang menopang pesawat dalam keadaan diam? Bagaimana prinsip kerjanya?

Pertanyaan-pertanyaan tersebut akan terjawab dengan mempelajari dan memahami *Landing Gear System*, yaitu sistem penggerak roda pesawat udara ketika melakukan pendaratan (*landing*), lepas landas (*take off*), atau pergerakan-pergerakan lain di darat.

Bentuk *landing gear* disesuaikan dengan landasan yang akan didarati pesawat. Apabila landasannya di daratan, *landing gear* berbentuk roda. Jika pesawat mendarat di air, *landing gear* yang digunakan adalah pelampung (*float*). Apabila pesawatnya dirancang untuk mendarat di salju, *landing gear* yang digunakan berbentuk ski.

Landing gear banyak yang berbentuk roda, karena jenis inilah yang paling banyak digunakan. Tidak hanya *landing* dan *take off*, *landing gear* juga digunakan saat *parking* dan *taxing*. Secara struktur, *landing gear* menahan beban pesawat saat diam maupun bergerak.

1. Karakteristik *Landing Gear*

Landing gear pesawat modern umumnya jenis tipe *tricycle landing gear*, sedangkan pesawat tua umumnya menggunakan *conventional landing gear*.

Semua kendali *landing gear* ada di kokpit. *Landing gear* diturunkan dan dilipat menggunakan tenaga hidrolik, tetapi dalam keadaan darurat *landing gear* dapat dioperasikan secara manual dengan menggunakan *handle “T”* yang terdapat di lantai kokpit.



Sumber: wikipedia.org/Ahunt (2006)



Sumber: wikipedia.org/Arpingstone (2005)

Gambar 4.52 *Tricycle Landing Gear*



Sumber: wikipedia.org/Ahunt (2006)



Sumber: wikipedia.org/Alan Radecki (2007)

Gambar 4.53 *Conventional Landing Gear*

Main landing gear dilengkapi dengan *brake* (rem). *Brake* dapat digerakkan secara manual maupun otomatis dan dilengkapi dengan sistem *anti skid* yang digunakan untuk menambah dan memaksimalkan pengereman. Khusus untuk *nose landing gear* digunakan saat di darat yang berguna pada saat *taxing* dan *take off*.

Indikator *landing gear control* yang terdapat di kokpit terdiri dari *Landing Gear Selector Lever and Indicator Light*, *Nose Gear Steering Control Wheel*, *Anti*

Skid Control Witch and Inoperative Indicator, dan *Auto Brake Control Switch and Distram Indicator*.

2. Pengoperasian *Landing Gear*

Landing gear terdiri dari dua *main landing gear* dan satu *nose landing gear*. Spesifikasi *landing gear system* harus mampu melakukan proses-proses berikut.

- Mengeluarkan roda dari pesawat dan melipat roda ke dalam pesawat.
- Mampu memberikan informasi hal yang bermasalah dalam pergerakan roda pendaratan.
- Mampu memberi informasi berupa posisi roda pendaratan dalam bentuk nyala lampu.
- Mampu membaca ketinggian pesawat dan memberikan informasi kepada pilot berupa suara alarm dan lampu.

a. Posisi Tuas Selektor

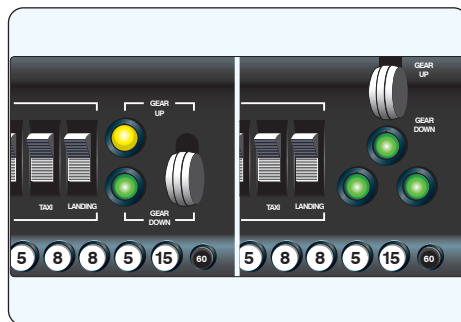
- 1) Jika tuas selektor di posisi “Up”, ketiga *landing gear* akan *retract* (melipat) secara perlahan. *Main landing gear* akan masuk ke *fuselage* dan *nose landing gear* akan masuk ke *whell well*.
- 2) Jika tuas selektor di posisi “Down” maka ketiga *landing gear* akan *extending*/keluar/turun secara halus dan perlahan.
- 3) Apabila tuas kontrol pada posisi *OFF* normalnya untuk *cruising mode*, maka semua *landing gear* tidak menerima tekanan hidrolis.
- 4) Sistem penguncian (*lock system*) mencegah *landing gear* meretraksi/melipat saat pesawat berada di darat meski tuas kontrol pada posisi *UP*.

b. Informasi *Landing Gear Indicator System*

- 1) Lampu hijau akan menyala yang mengindikasikan *landing gear* pada posisi turun dan terkunci, artinya boleh melakukan proses pendaratan.
- 2) Lampu merah akan menyala yang mengindikasikan *landing gear* sedang proses transisi (dari *up* ke *down* atau *down* ke *up*) dan tidak memungkinkan dilakukan proses pendaratan karena *landing gear* tidak dalam posisi mengunci.

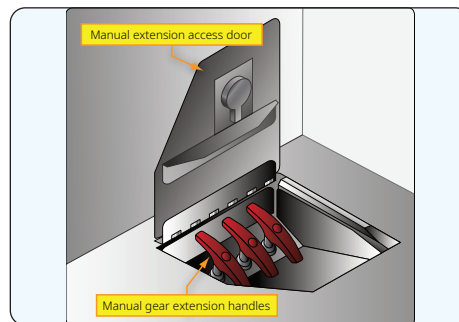
c. Situasi Darurat

Bila terjadi kedaruratan, maka terjadi perubahan perlakuan. Ada tiga *handle* “T” berwarna merah yang ditempatkan di *floor control cabin* di kokpit, yang digunakan untuk *manual extention* dari *nose, left and right landing gear* saat keadaan sistem hidrolik A gagal. *Handle* “T” ini secara terpisah mengoperasikan masing-masing *landing gear* tersebut. Tuas *Landing gear selector* harus pada posisi *OFF* saat *manual extension* digunakan.



Gambar 4.54 Indikator *Landing Gear*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)



Gambar 4.55 Red Handle “T”

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

3. Konstruksi Peredam Kejut (*Construction Shock Absorbing*)

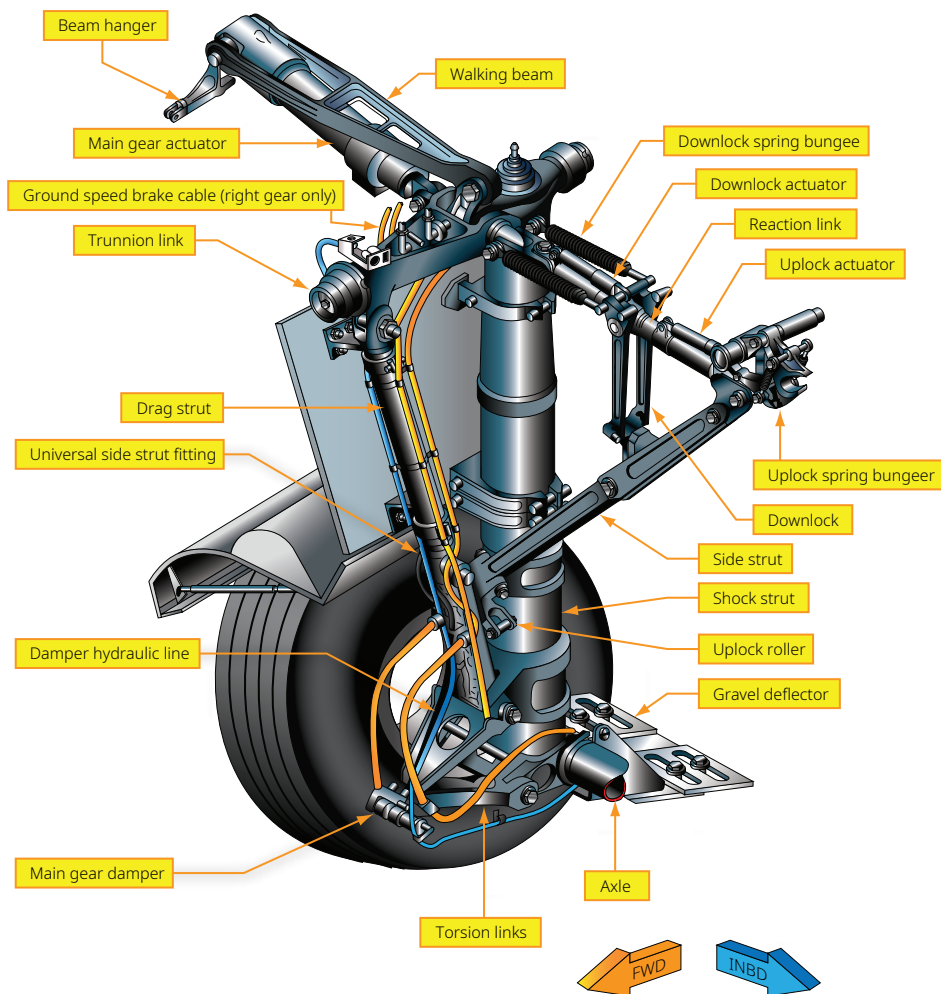
a. Roda Pendarat Utama (*Main Gear*)

Main gear berfungsi mendukung *fuselage*. Cara kerjanya yaitu menggunakan udara dan oli untuk menahan tekanan pada saat pesawat mendarat dan menahan getaran pada saat *taxing* (meluncur).

Main gear terdiri dari:

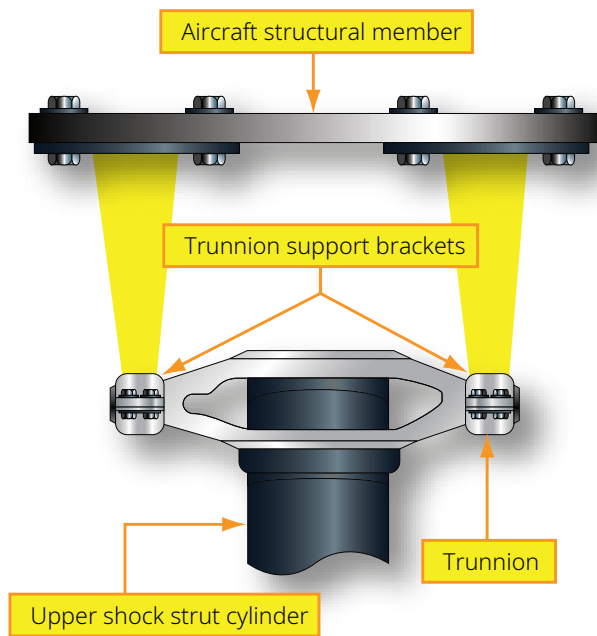
- 1) *Shock strut*, berfungsi menahan beban vertikal.
- 2) *Drag strut*, berfungsi menahan beban longitudinal saat pesawat mendarat.
- 3) *Side strut*, berfungsi menahan beban lateral (*assymetrical landing*).
- 4) *Trunnion link*, berfungsi sebagai perantara pemasangan *landing gear* terhadap struktur.
- 5) *Reaction link*, berfungsi meneruskan beban tekan *landing gear* ke atas dari *shock strut*.

- 6) *Torsion link (torque link)*, berfungsi mempertahankan kelurusan *landing gear*.
- 7) *Main gear dor*, terpasang menempel ke *shock strut* dan *drag strut*, saat *gear retract* terpasang ke *shock strut*. *Shock strut* terdiri dari *outerdoor*, *center door*, dan *inner door*. *Center door* menempel dengan klem di *shock strut* dan *drag strut*. Sedangkan *inner door* terpasang di *center door*.



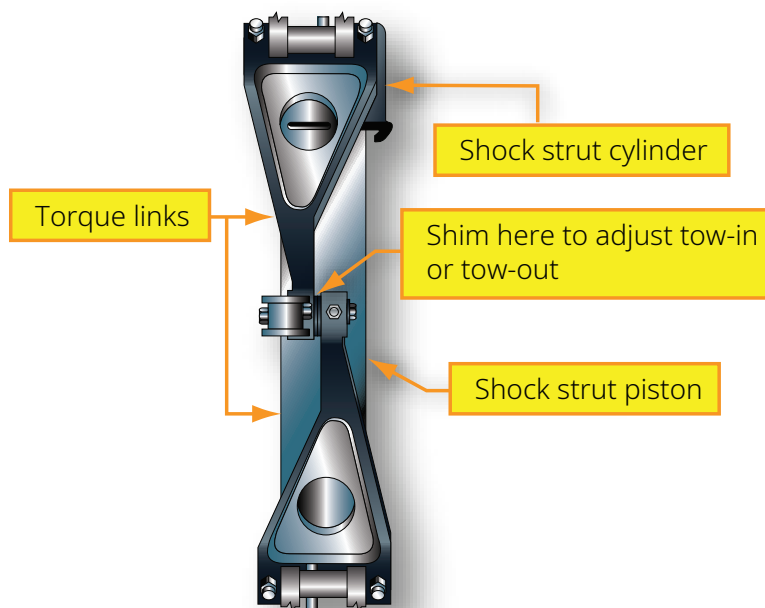
Gambar 4.56 Main Landing Gear

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)



Gambar 4.57 *Trunnion Link*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

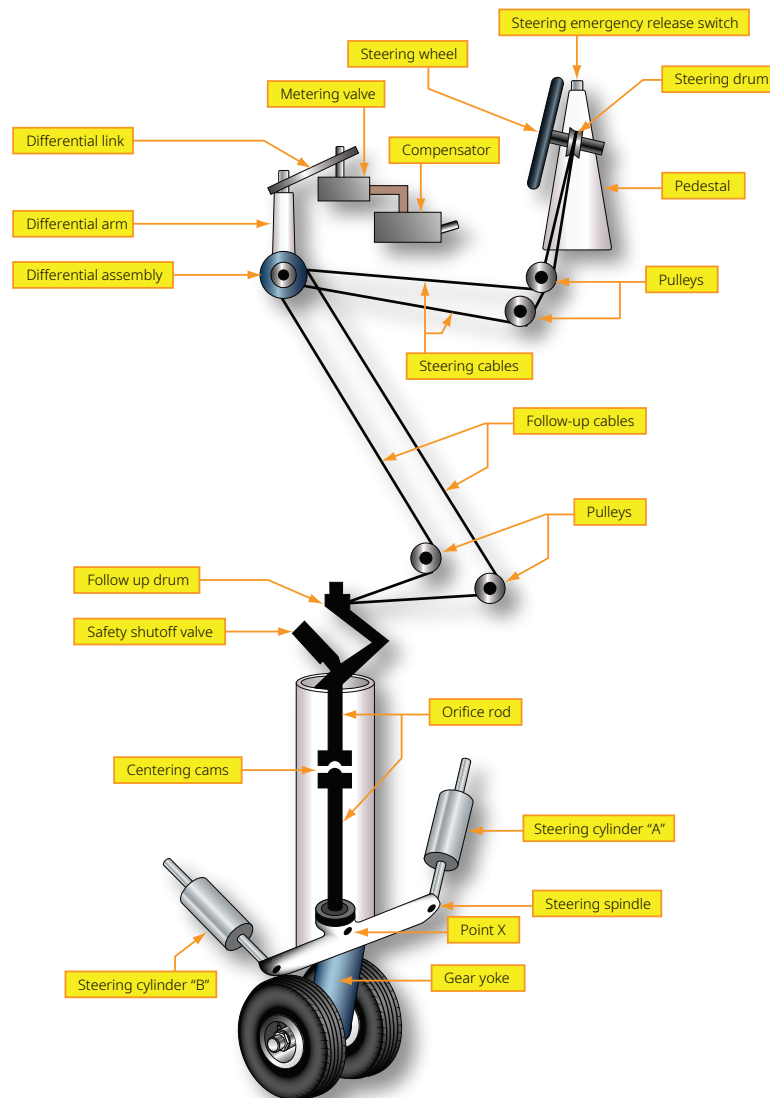


Gambar 4.58 *Torsion Link/Torque Link*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

b. *Nose Gear*

Di bagian *nose gear* terdapat *nose wheel steering* yang berfungsi mengontrol arah ketika pesawat udara *taxing* di darat. *Nose wheel steering* ini terdapat di sebelah kiri pilot, mampu membelokkan pesawat sampai 78° ke kiri dan ke kanan. *Nose wheel steering system* dapat juga dioperasikan dengan menggunakan pedal *rudder* ketika pesawat berada di darat. Pedal *rudder* dapat membelokkan pesawat sampai dengan 7° ke kiri dan ke kanan dari *center*.



Gambar 4.59 *Nose wheel steering system with hydraulic and mechanical units*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Bagian-Bagian *Nose Gear*

1) ***Drag Brace***

Drag brace terhubung dengan *lock mechanical* menahan *nose landing gear* pada saat *up/down* dan posisi *lock*. *Drag brace* terdiri dari *upper* dan *lower link*.

2) ***Shock Strut***

Shock strut merupakan penyangga utama *nose* yang berisi fluida dan diisi dengan *dry nitrogen* untuk menyerap beban pada saat *take off* dan *landing*. *Shock strut* terdiri dari *inner* dan *outer cylinder*, *matering pin assembly*, *upper* dan *lower orifice assembly*, dan *upper* dan *lower centering cam assembly*.

3) ***Torsion Link/Torque Link***

Torsion link/Torque link menahan rotasi (perputaran antara *inner* dan *outer cylinder*) untuk mempertahankan kelurusan *landing gear*, kecuali pada saat *steering*.

4) ***Nose Gear Door***

Dua pintu samping kiri dan kanan *nose gear door* akan menutup pada saat aksi roda melipat. *Nose gear door* dipasang di dinding *nose wheel well* dengan engsel. Pintu dapat membuka dan menutup karena terhubung *crank* dan *rods* di *trunnion*.

4. Sistem Ekstensi dan Retraksi: Normal dan Darurat

Ekstensi dan retraksi adalah sistem untuk melipat roda pendaratan setelah pesawat *take off* dan mengeluarkan roda pendaratan apabila pesawat mendarat.

Landing gear dioperasikan secara hidrolik menggunakan sistem A dan dikontrol dengan menggunakan sebuah *landing gear handle* di kokpit. Sebagai alternatif, boleh menggunakan sistem B yang dilengkapi dengan sebuah *manual extention* untuk mengeluarkan roda secara manual jika hidrolik tidak berfungsi.

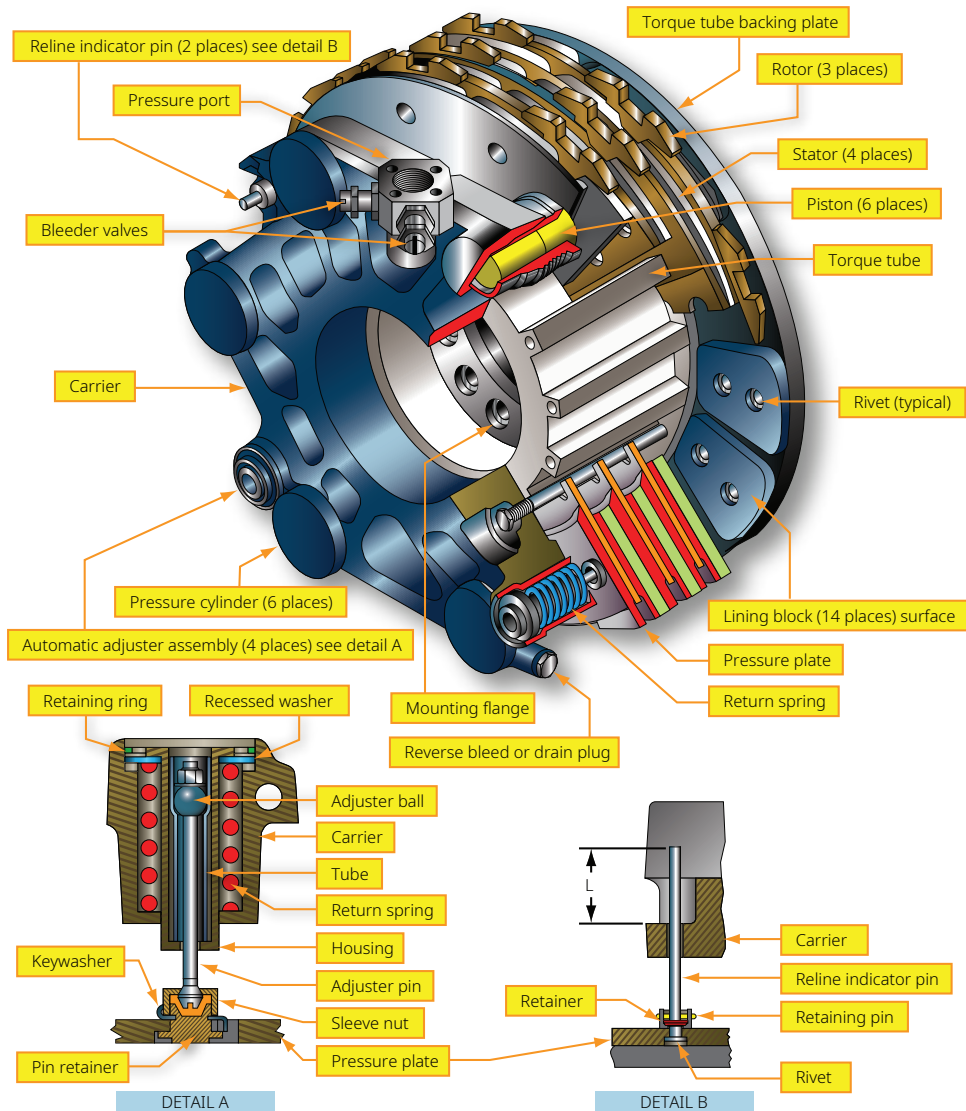
Komponen yang Terlibat dalam Ekstensi dan Retraksi

- a. *Landing gear control lever assembly* berfungsi menyampaikan tindakan pilot ke katup selektor. *Control lever* ini terdapat di bagian kanan *panel*

- pilot center instrument. Control lever* mempunyai tiga posisi, yaitu *up-retract* (roda ke atas-melipat), *down-extent* (roda turun-keluar), dan *off* apabila dalam keadaan terbang (normal).
- b. *Landing gear control lever assembly berfungsi* mencegah roda pendaratan melipat/masuk saat pesawat berada di *ground*.
 - c. *Landing gear selector valve* terdapat di *landing gear wheel well* sebelah kiri, berfungsi meneruskan tekanan hidrolik untuk memasukkan dan mengeluarkan *landing gear*.
 - d. *Main gear actuator assembly* berfungsi mengubah tekanan hidrolik menjadi tenaga mekanikal yang berguna untuk mengangkat dan menurunkan roda pendaratan. *Main gear actuator assembly* terdapat di sayap, tepatnya di bagian luar *shock strut*.
 - e. *Main gear actuator berfungsi* menaikkan dan menurunkan roda pendaratan utama serta untuk mengurangi gerakan *main gear* masuk ke struktur *wheel well* selama aktuator beroperasi.
 - f. *Main gear modular package* berfungsi mengubah aliran hidrolik yang mengalir langsung ke *gear actuator* dan *lock actuator*. *Main gear modular package* terdapat di *wing spar* bagian belakang.
 - g. *Main gear lock mechanism* berfungsi mengunci saat roda pendarat melipat atau keluar. *Main gear lock mechanism* terdiri dari hoock, dua buah aktuator hidrolik, pegas, dan dua buah *lock strut*.
 - h. *Transfer cylinder* berfungsi menyamakan besarnya tekanan dalam *main gear actuator* pada saat roda keluar dan melipat. *Transfer cylinder* terdapat di bagian belakang *wing spar* di atas *gear actuator assembly*.
 - i. *Nose gear actuator assembly* berfungsi mengubah tekanan hidrolik menjadi tenaga mekanikal untuk menaikkan dan menurunkan *nose landing gear*. *Nose gear actuator assembly* terpasang di *nose wheel well*.
 - j. *Nose gear lock mechanism* berfungsi sebagai pengunci saat posisi roda ke atas/ke bawah. *Nose gear lock mechanism* terpasang di antara *drag brace* dan sebuah aktuator/penggerak.
 - k. *Nose gear hydraulic components* yaitu sebuah modular hidrolik yang terpasang di dinding belakang *nose wheel well*. *Transfer cylinder* terpasang di dinding depan *nose wheel well*.

5. Sistem Rem (Brake System)

Brake system digunakan untuk membantu menghentikan pesawat udara pada saat *landing* dan beroperasi di darat. Brake juga digunakan untuk membantu kinerja pesawat udara pada saat parkir.



Gambar 4.60 Sistem Rem (Brake system)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Pesawat Boeing 737 dilengkapi dengan enam wheel yang terdiri dari dua nosewheel dan empat main wheel serta *tire assembly* dengan *tire tubeless*.

Masing-masing *main gear* dilengkapi dengan *brake*. *Brake* dapat difungsikan secara manual oleh kapten/kopilot dengan *brake pedal* atau juga bisa secara otomatis dengan menggunakan tombol *automatic brake system*.

6. *Anti Skid Sytem*

Anti skid system dirancang untuk mendapatkan pengereman yang maksimal dan efektif pada kondisi beberapa landasan tanpa *skidding* (roda macet).

Masing-masing *main gear wheel* dilengkapi dengan *anti skid tranducer* yang mendapatkan informasi mengenai kecepatan *main wheel* yang diteruskan ke *control unit*. *Anti skid control unit* terpasang di kompartemen peralatan listrik, sedangkan *anti skid protection* digunakan pada saat pengereman normal dan saat alternatif pengereman manual serta pengereman otomatis.

7. *Pelek (Wheel)*

Wheel dirancang untuk tahan pada kecepatan putaran tinggi. *Wheel* terbuat dari bahan aluminium/magnesium. Kedua material itu selain kuat, ringan, juga hanya membutuhkan sedikit perawatan. *Wheel* dipasang di rakitan *inner and outer roller bearing*. *Wheel snubber* terletak di panel ceiling di dalam *nose wheel weel* untuk menghentikan putaran.

8. *Ban (Tire)*

Tire menahan berat pesawat pada saat pesawat di darat, berfungsi saat pengereman dan pemberhentian *aircraft* ketika *landing*.

Bagian Utama *Tire*

a. *Cord Body*

Bagian ini terdiri dari permukaan nilon berlapis yang disusun secara paralel dan dilapisi oleh karet. *Cord body* berfungsi memberikan kekuatan agar *tire* tahan terhadap tekanan dari dalam dan untuk mempertahankan bentuk *tire*.

b. *Treat*

Treat adalah permukaan karet yang dilapisi *tire* paling luar, melindungi *cord body* dari abrasi, goresan, dan kelembapan.

c. *Side Wall*

Bagian ini merupakan permukaan luar yang menghubungkan *tread* dan

memanjang menuju *breaks*. Seperti halnya *tread*, *sidewall* juga melindungi *cord body* dari abrasi, goresan, dan kelembapan.

d. Breaks

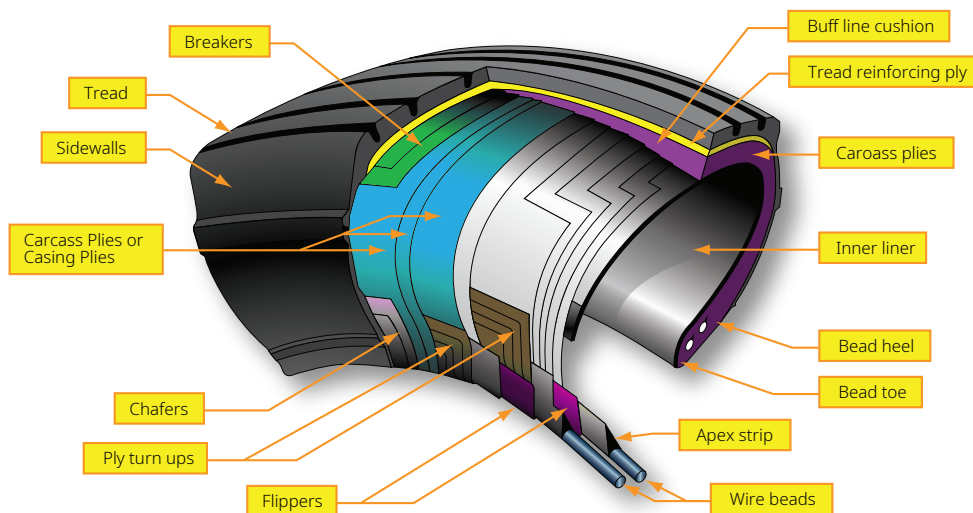
Breaks adalah kawat baja berlapis yang sangat kuat.

e. Breakers

Breakers adalah lapisan *cord/fabric* yang tebal di dalam tire.

f. Rubber Brakes

Bagian ini terletak di antara *tread rubber cord body* untuk memberikan kekuatan ekstra pada *tire* berdasarkan jumlah lembaran *cord fabric* dalam sebuah *tire* yang disebut dengan istilah *Ply rating*. Istilah ini digunakan untuk mengidentifikasi beban maksimum dari sebuah *tire*.



Gambar 4.61 Aircraft Tire Nomenclature

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

F. Lights System (ATA 33)

Sistem penerangan pesawat memberikan penerangan untuk eksterior dan interiornya. Lampu juga berguna sebagai penyedia informasi dan petunjuk bagi penumpang saat pesawat dalam kondisi normal atau darurat.

Sistem penerangan pesawat terdiri dari:

1. Lampu eksterior yang menerangi pesawat dan area pendaratan, area landasan pacu, dan area luncur pesawat selama operasi darat.

2. Lampu interior yang menerangi *flight compartment*, kabin penumpang, dan kompartemen kargo.
3. Lampu darurat yang ada di interior dan eksterior pesawat, fungsinya memberikan penerangan ke jalur keluar pesawat. Ada lampu untuk lorong, pintu keluar, dan area terkait.

Lampu eksterior memberikan penerangan untuk pendaratan di malam hari, memeriksa kondisi lapisan es, dan menghindari tabrakan di udara. Lampu interior memberikan penerangan untuk panel instrumen, kokpit, kabin, dan bagian lain yang ditempati kru dan penumpang. Ada juga lampu khusus, seperti lampu indikator dan lampu peringatan untuk menunjukkan status instrumen.

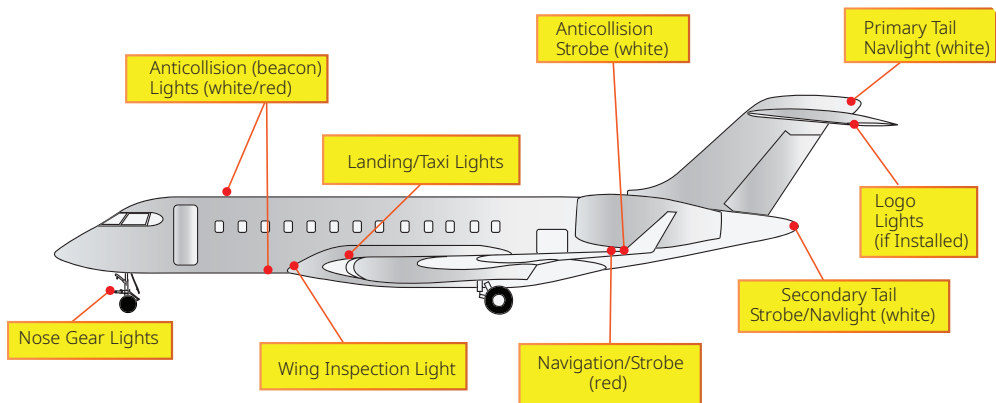
1. Lampu Eksterior (*Exterior Lights*)

Lampu eksterior adalah lampu yang dipasang di sisi luar pesawat, fungsinya agar membuat pesawat lebih mudah dilihat, menyediakan pasokan penerangan ke area sekitar pesawat, dan menerangi permukaan luar pesawat.

Lampu eksterior terdiri dari bagian-bagian berikut.

- a. *Landing lights*; 2 lampu di *nose*, 1 lampu di setiap pangkal sayap.
- b. *Taxi lights/recognition lights*; ada 2 terletak berdekatan dengan *wing landing lights*.
- c. *Navigation/position lights*; ada di *wing tip*, *tail cone tip*, *stabilizer tip*.
- d. *Anticollision lights*; terletak di *wing tip*.
- e. *Beacon lights*; ada 2 terletak di atas dan di bawah *fuselage*.
- f. *Logo Light* (lampu logo) posisinya di atas tiang mesin.
- g. *Wings inspection lights*; ada 2 di *fuselage*, ada 1 di setiap pangkal sayap.

Semua lampu tersebut dikendalikan di kokpit. Lampu pendaratan memasok penerangan ke landasan pacu, lampu landasan pacu (*runway lights*) memasok penerangan ke area depan dan samping pesawat, lampu meluncur (*taxi lights*) memasok penerangan ke area roda hidung mengarah, lampu *anticollision* membuat pesawat lebih mudah terlihat agar tidak tabrakan, dipasang di setiap ujung sayap. Lokasi penempatan lampu-lampu eksterior dapat dilihat pada gambar berikut.



Not Shown: Navigation Right Hand Side (green)

Gambar 4.62 Posisi Lampu Eksterior

Sumber: smartcockpit.com/Bombardier Global (2004)

a. Lampu Pendaratan dan Lampu Landasan Pacu

Lampu-lampu ini dirancang untuk memberikan penerangan yang baik saat pesawat mendarat atau berbelok di landasan. Lampu ini sangat kuat dan diarahkan oleh reflektor parabola di sudut jangkauan maksimum.



Gambar 4.63 Lampu pendaratan (*Landing lights*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Lampu pendaratan untuk pesawat yang lebih kecil biasanya terletak di tengah-tengah *leading edge* masing-masing sayap atau sejajar dengan permukaan pesawat. Lampu pendaratan untuk pesawat penumpang besar yang lebih besar biasanya terletak di pangkal sayap dekat dengan badan pesawat.

b. Lampu Taksi (*Taxi lights*)

Lampu ini dirancang untuk menerangi jalur luncur saat pesawat meluncur atau ketika ditarik dari atau ke landasan pacu, atau bisa juga untuk menerangi area hanggar. Lampu dipasang dengan bracket di batang *nose gear shock*.

Di tipe pesawat dengan tiga roda pendarat (*tricycle landing gear*), lampu taksi tunggal atau ganda dipasang di bagian yang tidak bergerak

dari roda pendarat untuk memberikan penerangan langsung ke depan pesawat dan untuk menerangi sisi kanan dan kiri jalur pendaratan.



Gambar 4.64 Lampu Taksi (*Taxi Lights*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

c. Lampu Posisi (*Position Lights*)

Pesawat yang beroperasi pada malam hari harus dilengkapi dengan lampu posisi yang memenuhi persyaratan minimum sesuai Peraturan Federal Amerika Serikat. Satu set lampu posisi terdiri dari satu lampu merah, satu hijau, dan satu putih.



Gambar 4.65 Lampu Posisi Kiri (Merah)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)



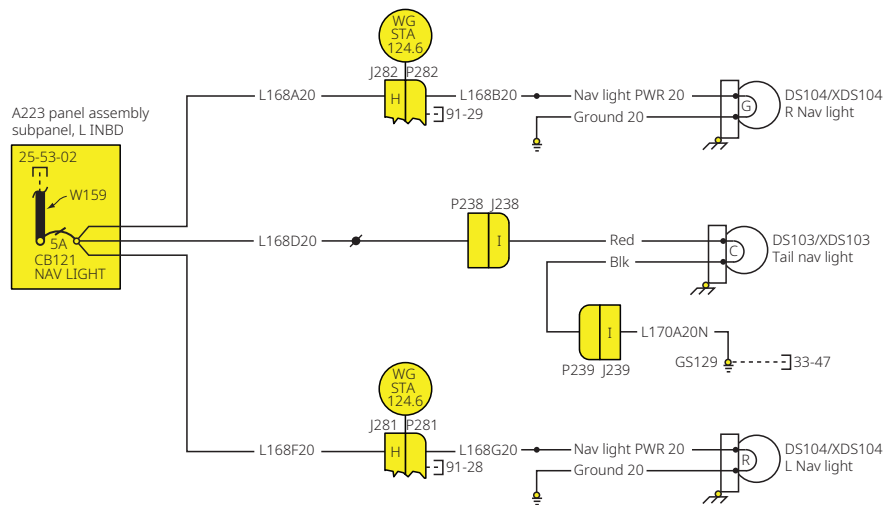
Gambar 4.66 Lampu Posisi Kanan (Hijau)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

Ada instalasi di kokpit yang menyediakan satu sakelar untuk pilihan pengoperasian lampu posisi yang stabil atau berkedip. Di banyak pesawat, setiap unit lampu posisi berisi satu lampu yang dipasang di permukaan pesawat, namun ada juga yang berisi dua lampu.

Unit lampu hijau selalu dipasang di ujung sayap kanan. Unit lampu merah dipasang di ujung sayap kiri. Unit lampu putih biasanya dipasang pada vertikal stabilizer di posisi yang terlihat jelas dari bagian belakang

pesawat. Gambar berikut mengilustrasikan diagram skema rangkaian lampu posisi yang juga dikenal sebagai lampu navigasi.



Gambar 4.67 Skema Sistem Lampu Navigasi

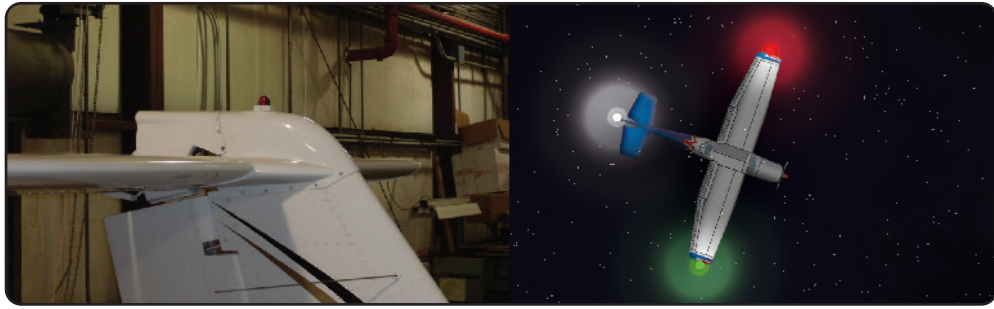
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

Ada banyak variasi rangkaian lampu posisi yang digunakan di pesawat. Semua rangkaian dilengkapi sekering atau pemutus sirkuit. Dalam satu rangkaian bisa terdiri dari lampu kedip dan lampu redup. Sirkuit yang digunakan pesawat kecil biasanya lebih sederhana. Dalam beberapa kasus, satu tombol digunakan untuk beberapa fungsi, pertama untuk menyalakan lampu, kedua tombol bisa diputar untuk mengatur intensitas cahayanya.

Pesawat kecil jarang memakai jenis lampu kedip sebagai lampu posisi, namun pesawat-pesawat bermesin ganda memakainya. Lampu posisi tradisional menggunakan bola lampu pijar. Pesawat modern menggunakan lampu LED karena visibilitasnya bagus, andal, dan hemat mengonsumsi daya.

d. Lampu Anti Tabrakan (*Anticollision Lights*)

Lampu *anticollision* dapat terdiri dari satu lampu atau lebih. Biasanya dipasang di atas badan atau ekor pesawat yang lokasinya diatur sedemikian rupa agar cahayanya tidak mengganggu penglihatan kru, namun tanpa mengurangi visibilitas lampu posisi.



Gambar 4.68 Lampu Anti Tabrakan (*Anticollision Lights*)

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018)

2. Lampu Interior (*Interior Lights*)

Lampu interior terdiri dari:

- a. *Flight Compartment Lights*
- b. *Passenger Compartment Lights* (Lampu kabin)
- c. *Cargo Compartment Lights*

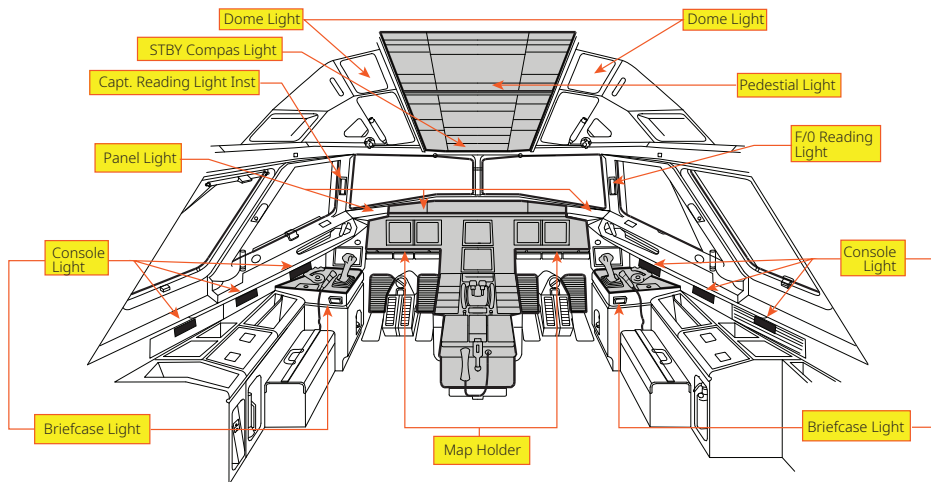
a. Lampu *Flight Compartment* (*Flight Compartment Lighting*)

Lampu di *flight compartment* disediakan untuk menerangi panel-panel instrumen dan area *flight compartment*, misalnya lampu penerangan *chart* dan *map*, lampu sorot kaca depan, lampu *dome* di atas kepala, lampu baca individu, lampu kontrol pilot, lampu *handle caps* (kepala pegangan), lampu kontrol udara alternatif, dan lampu pemutus sirkuit.

Kontrol untuk lampu-lampu tersebut ada di empat panel, yaitu:

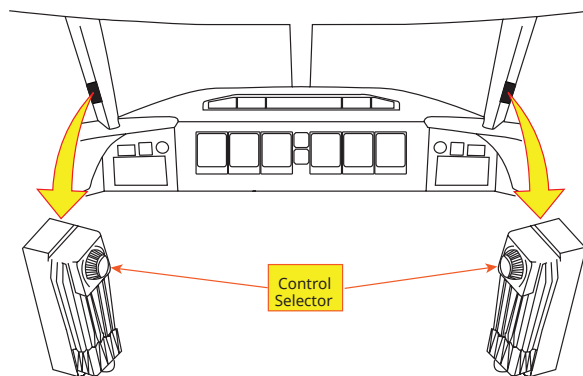
1. Panel Lampu Pilot
2. Panel Lampu Co-Pilot
3. Panel lampu Center Pedestal
4. Panel *Miscellaneous Overhead* (Lampu Indikator Eksternal)

Panel a, b, dan c letaknya di bawah, yaitu di bagian lebih bawah di *center pedestal*. Sedangkan panel d ada di atas sebelah kiri. Pencahayaan instrumen ini terdiri dari lampu pijar yang dapat diatur intensitasnya pada bezel instrumen.



MAP READING LIGHTS

Each crew member (pilot and copilot) position is provided with a map reading light. These lights swivel and include on/off and dimming capabilities.



Gambar 4.69 Penerangan di *Flight Compartment* dan Lampu Pembacaan Map

Sumber: smartcockpit.com/Bombardier Global (2004)

b. Lampu Kabin Penumpang (*Passenger Compartment Lighting*)

Lampu di kabin penumpang menerangi seluruh kabin, area pintu masuk, area kerja pramugari, toilet, dan dapur. Tersedia sistem pencahayaan darurat di lantai pesawat untuk membantu penumpang pesawat dalam keadaan darurat. Toilet diterangi dengan *dome lights* di langit-langit.

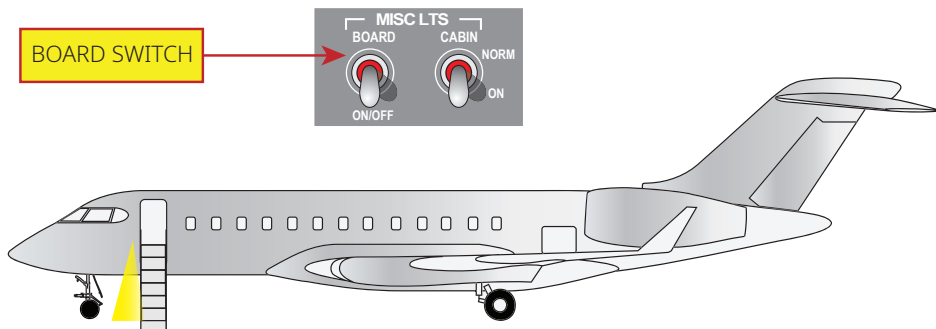
Kabin penumpang diterangi banyak lampu agar penumpang merasa nyaman dan aman. Lampu-lampu ini adalah *boarding lights*, *stair lights*, *passenger signs (passenger ordinance lights)*, *floodlights cabin* (lampu sorot) dan lampu baca. Penempatan dan sakelar lampu sorot dan lampu baca ini bervariasi tergantung jenis pesawatnya.



Gambar 4.70 Penerangan dalam Kabin

Sumber: airbus.com (2022)

Lampu *boarding* terletak di sebelah kiri bingkai pintu masuk penumpang yang menandakan sedang *boarding*. Tombol BOARD mengendalikan *boarding light*.



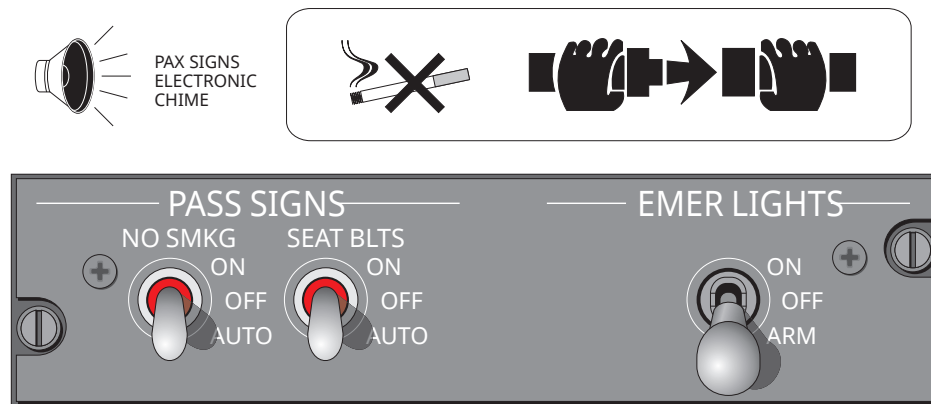
Gambar 4.71 Letak *Boarding Lights* dan Tombol Pengendalinya

Sumber: smartcockpit.com/Bombardier Global (2004)

Untuk menerangi tangga masuk penumpang, lampu tangga terpasang di anak tangga pertama, ke tiga, ke empat dan ke enam. Dua lampu sorot juga dipasang di anak tangga terakhir untuk menyorot ke bagian bawah tangga.

Passenger ordinance lights adalah lampu-lampu yang menerangi peraturan untuk penumpang, misalnya *NO SMOKING sign* dan *SEATBELT sign*. Tombol pengaturannya ada di panel *flight compartment*. Lampu *NO SMOKING sign* dan *SEATBELT sign* otomatis menyala apabila roda pendarat

ke bawah. Lampu *NO SMOKING sign* dan *SEATBELT sign* otomatis menyala ketika *cabin altitude* melebihi 10.000 kaki. *SEATBELT sign* juga otomatis menyala apabila flap-flap terpilih lebih besar dari nol. Ketika lampu-lampu ini beroperasi dibarengi dengan bunyi.



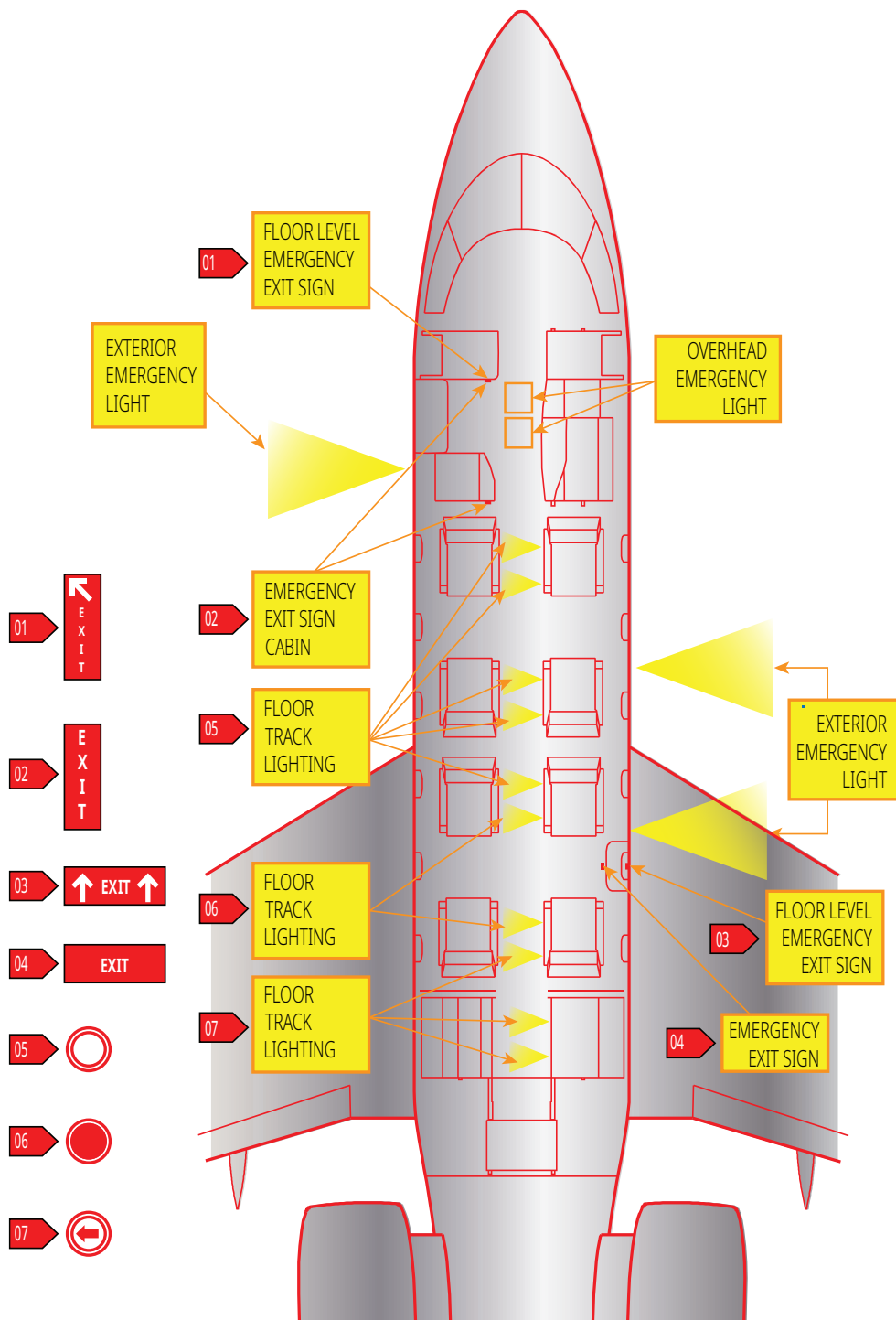
Gambar 4.72 *Passenger Ordinance Lights*

Sumber: smartcockpit.com/Bombardier Global (2004)

Sesuai dengan gambar yang berupa rokok di silang merah artinya kabin pesawat merupakan area dilarang merokok. Arti dari tanda *seat belt* adalah para penumpang agar segera memakai sabuk pengaman di tempat duduknya.

Pesawat komersial memiliki sistem pencahayaan independen sehingga penumpang dapat membaca saat lampu kabin mati. Penerangan kabin penumpang disediakan oleh lampu neon yang dipasang di langit-langit dan panel dinding di seluruh kabin penumpang. Lampu baca dipasang di unit layanan penumpang. Sakelar terletak berdekatan dengan masing-masing lampu di unit pelayanan penumpang (*passanger service unit/PSU*). Untuk kontrol pencahayaan toilet ada di setiap unit toilet.

Lampu darurat secara otomatis memasok penerangan ke kabin penumpang dan *flight compartment*, dan mengidentifikasi pintu keluar apabila pesawat mengalami kegagalan daya listrik. Pada kondisi ini, penerangan darurat menggantikan penerangan biasa. Tenaga listrik disuplai ke sistem penerangan darurat oleh catu daya (*power supply*) yang dioperasikan dengan baterai 6 volt, terlepas dari generator pesawat dan baterai. Lampu darurat eksterior adalah lampu pijar 6 volt yang dipasang di sisi luar pesawat. Lampu-lampu ini diarahkan untuk memberikan penerangan ke tangga luncur evakuasi darurat.



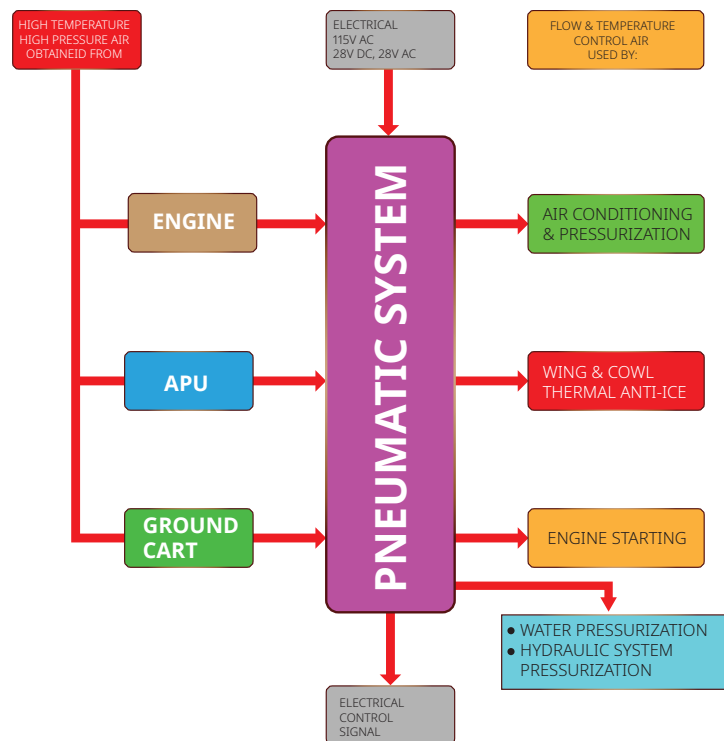
Gambar 4.73 Lampu Darurat (*Emergency Lights*)

Sumber: smartcockpit.com/Bombardier Global (2004)

G. Pneumatic/Vacuum System (ATA 36)

Semakin bertambah ketinggian dari permukaan laut (*sea level*) maka temperatur udara dan tekanan udara akan semakin turun. Artinya bila pesawat terbang semakin tinggi maka temperatur udara di sekitar pesawat bisa menjadi nol atau malah menjadi minus, begitu juga tekanan udara akan semakin rendah, sehingga kru dan penumpang pesawat tersebut akan sangat tidak nyaman dan bisa juga berujung kematian. Beberapa masalah psikologis yang timbul akibat ketinggian, yaitu hipoksia, mabuk ketinggian, mabuk pengurangan tekanan dan barotrauma.

Untuk menghindari hal seperti itu, maka di pesawat udara dilengkapi dengan *air conditioning* dan kabin yang terjaga tekanan udaranya. Sistem AC dan *presurisasi* kabin memperoleh pasokan udara dari sistem pneumatik. Sistem ini memasok udara terkompresi, mengontrol suhu dan tekanan kabin baik selama penerbangan berlangsung dan juga saat pesawat di darat. Udara yang bersuhu tinggi dan bertekanan tinggi ini diperoleh dari *bleed engine*, *Auxiliary Power Unit (APU)*, atau sumber di darat (*Ground cart*).

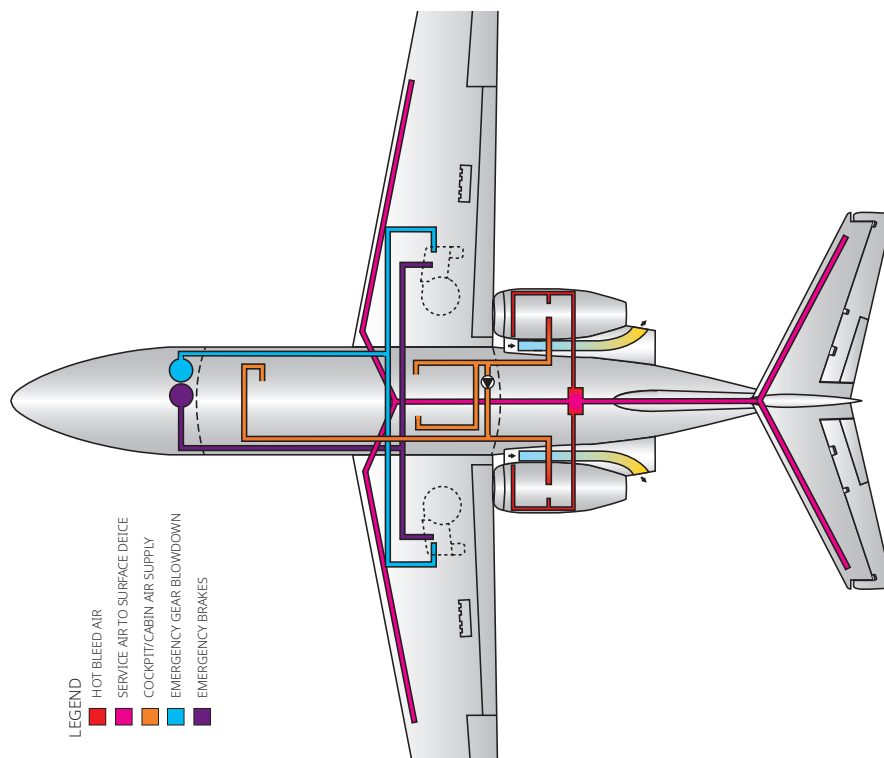


Gambar 4.74 Sumber Pneumatic System dan Penggunaannya

Sistem pneumatik pesawat udara menyediakan suhu tinggi (*high temperature*) dan udara bertekanan tinggi (*high pressure*).

Udara bertekanan tinggi dipergunakan untuk pengoperasian:

- Tangki air.
- Sumber udara bertekanan untuk menunjang sistem hidrolik.
- Menggerakkan *engine starter*.
- Pengatur A/C.
- Presurisasi kabin.
- Pengoperasian sistem *anti-icing* (*wing and cowl thermal anti-icing*).



Gambar 4.75 System Pneumatic di Pesawat Udara

Sumber: smartcockpit.com/Cessna (2022)

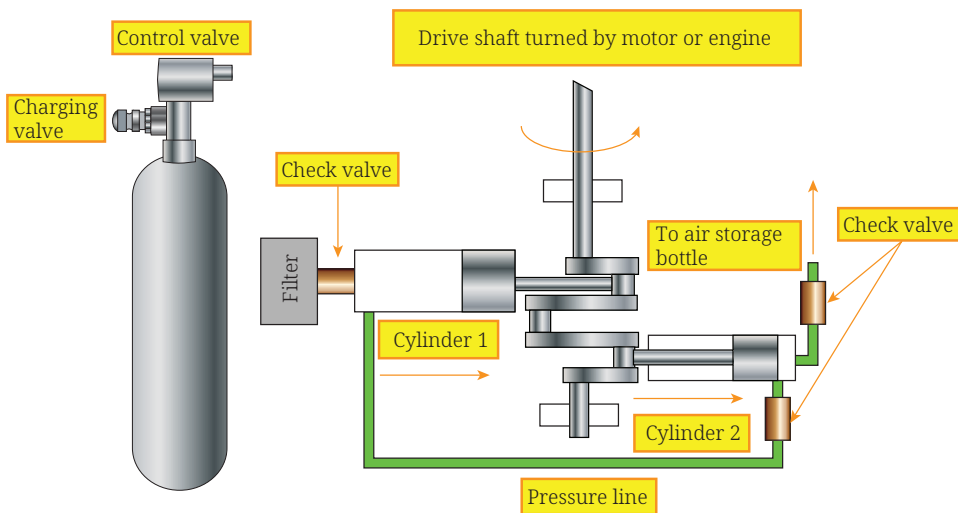
Beberapa produsen pesawat melengkapi pesawat dengan sistem pneumatik. Sistem pneumatik beroperasi seperti sistem hidrolik. Perbedaannya, sistem pneumatik menggunakan udara sebagai media kerjanya, sedangkan hidrolik menggunakan cairan (fluida) untuk daya transmisinya.

Sistem pneumatik menggunakan pasokan udara bertekanan dari *engine kompresor*, APU (Auxiliary Power Unit), atau dari pengisian *pneumatic* di darat (*ground cart*) yang kemudian didistribusikan oleh manifold pneumatik untuk sistem pesawat, misalnya ke AC, *Anti-Ice*, *starting engine*, sistem air minum, dan reservoir hidrolik.

Jenis unit yang digunakan untuk memberikan udara bertekanan ke sistem pneumatik ditentukan oleh sistem tekanan udara. Pada sistem tekanan tinggi, udara biasanya disimpan dalam botol logam pada tekanan mulai dari 1.000 sampai 3.000 *Psi*. Jenis botol udara memiliki dua katup, salah satunya adalah katup pengisian. Sebuah kompresor dihubungkan ke katup ini untuk menambah udara ke botol. Katup lainnya sebagai kontrol/ katup penutup, menjaga udara yang berada di dalam botol sampai sistem dioperasikan.

1. Sistem Tekanan Menengah

Sistem Pneumatik tekanan sedang atau menengah mempunyai *range* tekanan antara 100–150 *Psi*, biasanya tidak menggunakan tabung udara. Sistem ini umumnya mengambil udara terkompresi langsung dari motor kompresor.

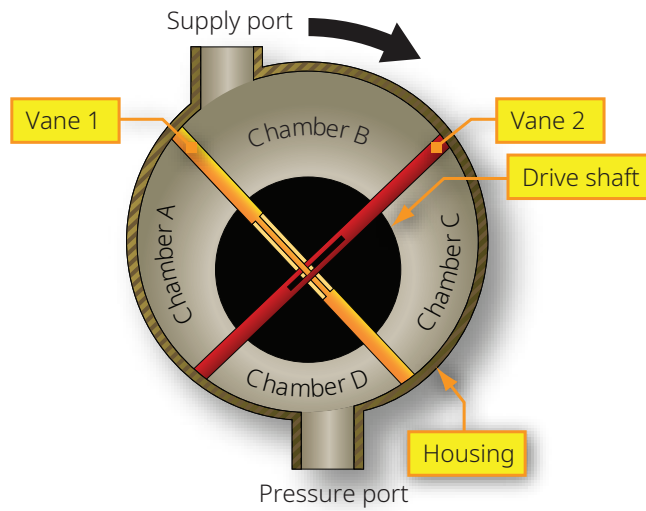


Gambar 4.76 Skema Dasar Kompresor Udara

Sumber: Airframe & Powerplant-MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK/FAA (1972)

2. Sistem Tekanan Rendah

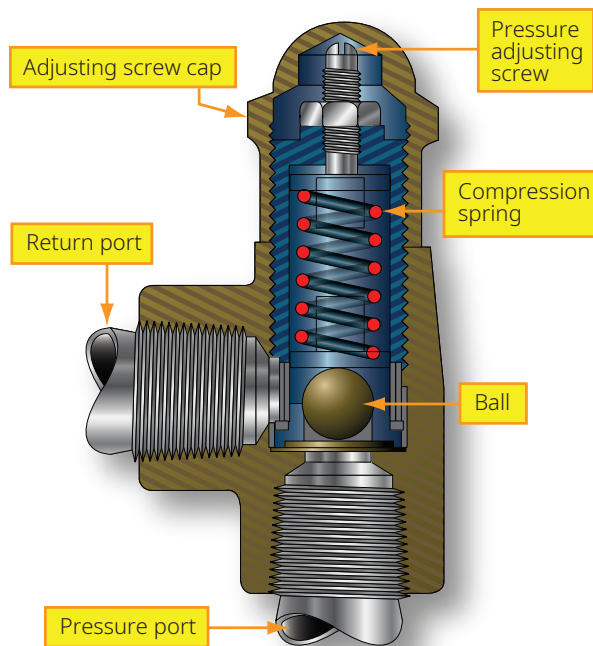
Tekanan udara rendah didapatkan dari pompa udara tipe vane. Pompa udara mengeluarkan tekanan udara secara kontinu dengan tekanan sebesar 1–10 *Psi* ke sistem pneumatik.



Gambar 4.77 Schematic Vane Type

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

3. Katup Pembuang Tekanan



Gambar 4.78 Katup Pembuang Tekanan

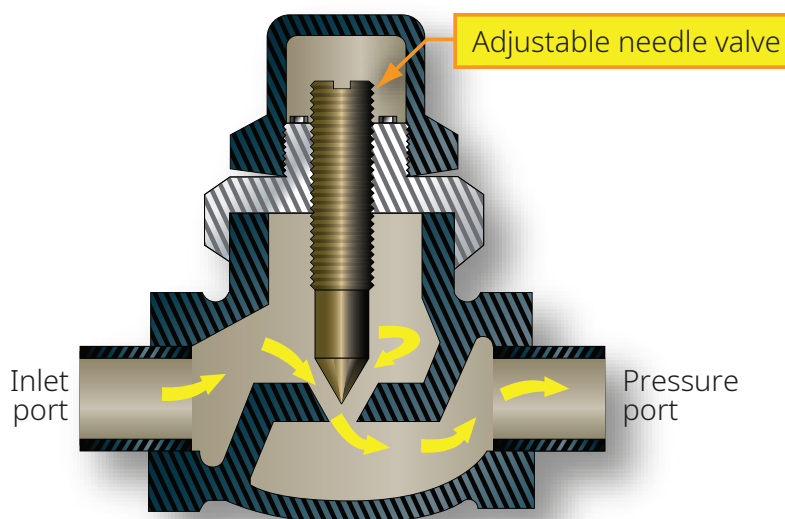
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

Banyak pesawat dengan mesin *reciprocating* (piston) mendapatkan pasokan udara tekanan rendah dari propeler. Pompa ini digerakkan oleh motor listrik atau dengan mesin pesawat. Ketika pompa mulai beroperasi, *drive shaft* berputar dan mengubah posisi dari baling-baling sehingga pompa dapat memberikan kelangsungan penyediaan udara terkompresi ke sistem pneumatik. Sistem pneumatik tidak memanfaatkan reservoir, pompa tangan, akumulator, regulator, *engine drive*, atau *electric driven power pump* untuk membangun tekanan normal.

Katup pembuang ini untuk membuang tekanan berlebih agar tekanan kembali normal. Jika tekanan naik terlalu tinggi, kekuatan tekanan itu mendorong disk (cakram) dan mengatasi tegangan pegas serta membuka katup. Udara dengan tekanan berlebih kemudian mengalir melalui katup dan habis karena udara mengalir ke atmosfer. Katup tetap terbuka sampai tekanan turun menjadi normal.

4. Katup Kontrol (*Control Valve*)

Katup kontrol sebagai katup yang mengatur fluida baik berupa gas, likuid, maupun solid agar aliran yang mengalir bisa diatur tekanan dan kecepatannya.

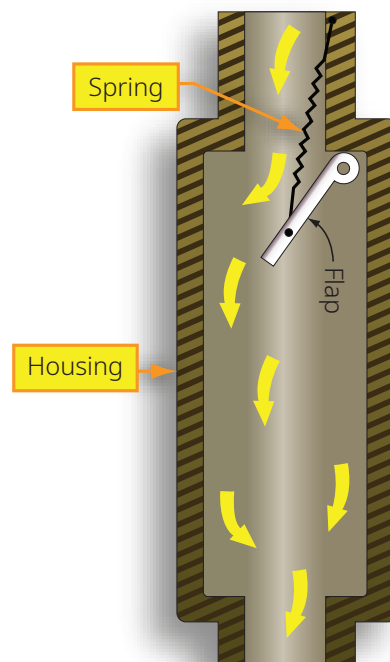


Gambar 4.79 *Control Valve*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

5. Katup Periksa (*Check Valve*)

Check valve berfungsi mencegah aliran balik (mengarahkan aliran ke satu arah) dalam sistem hidrolik dan pneumatik. Udara memasuki *port* kiri dari katup, tekanan udara ringan, memaksa katup terbuka dan memungkinkan udara mengalir keluar ke kanan *port*. Akan tetapi jika udara masuk dari kanan, tekanan udara menutup katup, mencegah aliran udara keluar lubang (*port*) kiri. Dengan demikian, tidak ada aliran balik. Jadi, *check valve* merupakan katup kontrol aliran satu arah.



Gambar 4.80 Control Valve

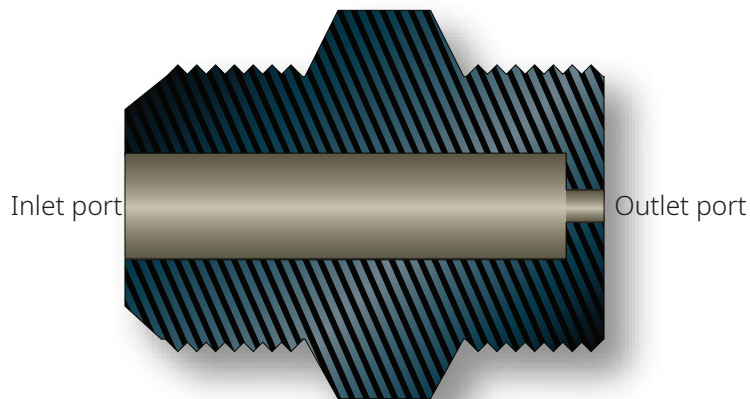
Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

6. Pembatas (*Restrictors*)

Restrictor adalah katup pembatas/pengontrol yang digunakan pada sistem pneumatik. *Restrictor* yang biasa digunakan ada dua tipe, yaitu tipe *restrictor orifice* dan *restrictor variable*.

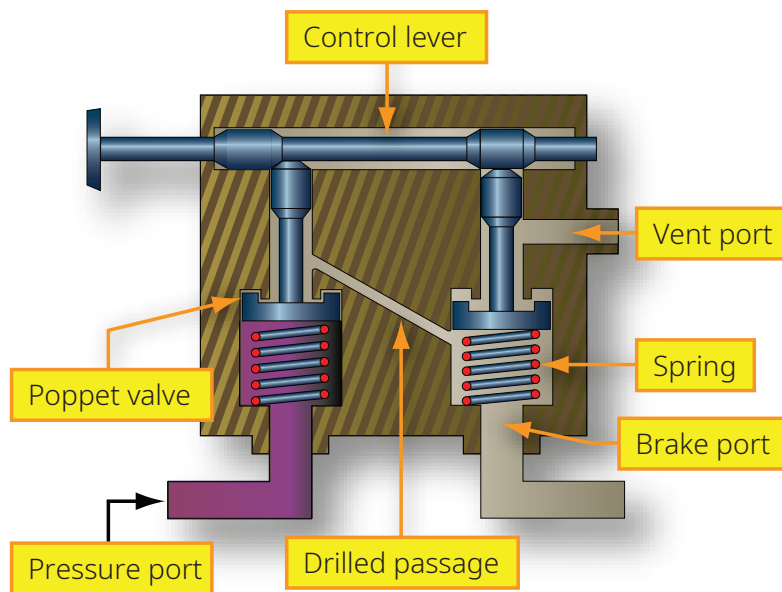
Restrictor jenis *orifice* adalah pembatas dengan lubang (*port*) masuk besar dan lubang keluar kecil. Lubang masuk yang kecil ini mengurangi laju aliran udara dan kecepatan pengoperasian unit penggerak.

Tipe *restrictor variabel* memiliki katup poppet yang dapat disetel, yang memiliki ulir di bagian atas dan titik di ujung bawah. Udara yang menuju lubang masuk harus melewati bukaan ini sebelum mencapai lubang keluar.



Gambar 4.81 *Restrictor Orifice*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

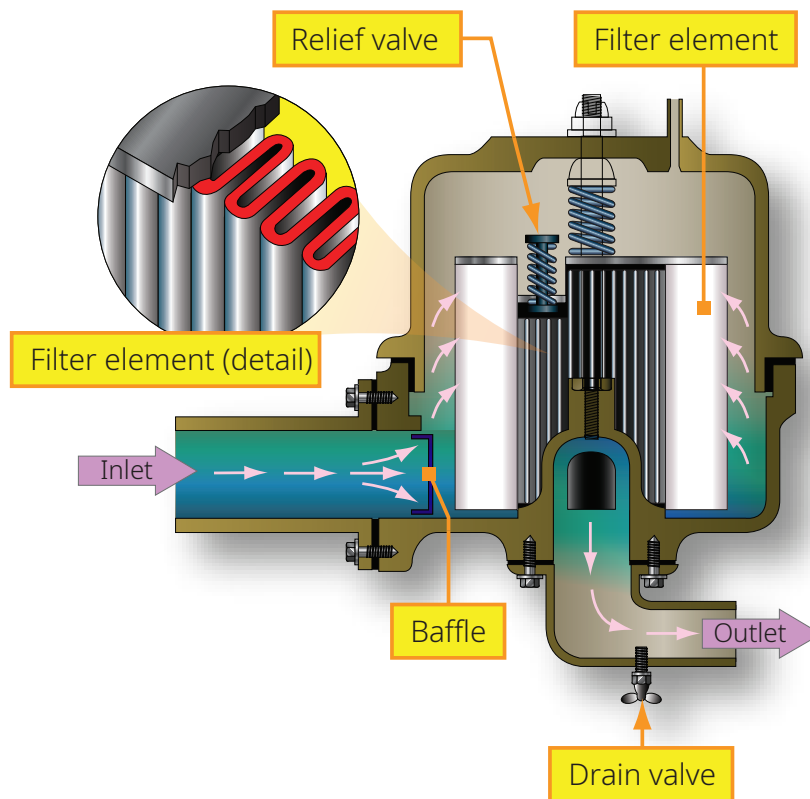


Gambar 4.82 *Variable Pneumatic Restrictor*

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)

7. Filter

Filter melindungi sistem pneumatik dari berbagai kotoran. Sebuah filter *micronic* terdiri dari selang dengan dua lubang; udara masuk lewat inlet, bergerak di sekitar *cartridge selulosa* kemudian mengalir ke pusat *cartridge* dan keluar melalui lubang keluar. Jika *cartridge* tersumbat dengan kotoran, tekanan akan mendorong katup terbuka dan memungkinkan udara tanpa filter mengalir ke lubang keluar (*port outlet*).



Gambar 4.83 Micronic filter

Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018)



Aktivitas Pembelajaran

1. Untuk lebih memahami pelajaran pada bab ini, buatlah kelompok untuk mencari dan menonton video di youtube atau sumber lain tentang materi-materi berikut!
 - a. *Equipment and Furnishing System*
 - b. *Fuel System*
 - c. *Lights System*
 - d. *Pneumatics System*
 - e. *Hydraulic Power System*
 - f. *Landing Gear System*
 - g. *Fire Protection System*

Setelah menyaksikan video tentang materi-materi tersebut, diskusikan bersama teman sekelompokmu bagaimana caranya agar peralatan peraga praktik yang ada di sekolah bisa diaplikasikan seperti yang ada pada video tersebut? Buat laporan diskusi dalam bentuk video dan catatan tertulis untuk diperiksa oleh gurumu!

2. Carilah literasi berupa video atau catatan tertulis tentang kegagalan yang terjadi pada sistem pesawat terbang (*aircraft system*), kemudian buatlah laporannya dengan menyertakan pembahasan berikut ini!
 - a. Apa penyebab kegagalan sistem di pesawat udara itu?
 - b. Bagaimana cara mengatasinya jika pesawat sedang beroperasi di udara?
 - c. Maintenance seperti apa yang harus dilakukan agar kegagalan sistem seperti itu tidak terjadi?



Rangkuman

1. Beberapa peralatan untuk kondisi darurat yang dipasang di pesawat, yaitu *escape straps*, *door mounted escape slides*, *over-water survival equipment*, dan *miscellaneous emergency equipment*.

2. Dua jenis bahan bakar pesawat:
 - a. Bahan bakar mesin piston, dikenal dengan bensin atau *AVGAS*.
 - b. Bahan bakar mesin turbin, dikenal dengan bahan bakar jet atau *kerosene*.
 - c. Lampu interior yang menerangi *flight compartment*, kabin penumpang, dan kompartemen kargo.
 - d. Lampu darurat yang ada di interior dan eksterior pesawat, fungsinya memberikan penerangan ke jalur keluar pesawat. Ada lampu untuk lorong, pintu keluar, dan area terkait.
3. Sistem pneumatik pesawat udara menyediakan suhu tinggi (*high temperature*) dan udara bertekanan tinggi (*high pressure*) yang digunakan untuk pengoperasian tangki air, sumber udara bertekanan untuk menunjang sistem hidrolik, menggerakkan *engine starter*, pengatur *Air Conditioning (AC)*, presurisasi kabin, dan pengoperasian sistem *anti icing* (*wing and cowl thermal anti-icing*).
4. Sistem pneumatik menggunakan pasokan udara bertekanan dari *engine kompresor*, *APU (Auxiliary Power Unit)*, atau dari pengisian *pneumatic* di darat (*ground cart*).
5. Sistem hidrolik di pesawat modern digunakan untuk menggerakkan *landing gear system*, sistem rem, *wing flaps*, *ram door system*, *speed brake*, *flight control surface*, dan mengontrol pergerakan propeler.
6. *Landing gear* digunakan pada saat *landing*, *take off*, *parking*, dan *taxing*. Secara struktur, *landing gear* menahan beban pesawat saat diam maupun bergerak.
7. *Main gear* berfungsi mendukung *fuselage*. Cara kerjanya yaitu menggunakan udara dan oli untuk menahan tekanan pada saat pesawat mendarat dan menahan getaran pada saat *taxing* (meluncur).
8. Di bagian *nose gear* terdapat *nose wheel steering* yang berfungsi mengontrol arah ketika pesawat udara *taxing* di darat.
9. *Brake system* digunakan untuk membantu menghentikan pesawat udara pada saat *landing* dan beroperasi di darat. *Brake* juga digunakan untuk membantu kinerja pesawat udara pada saat parkir.

10. Lokasi penempatan detektor atau sistem pemadam kebakaran di pesawat ada di posisi *Engines and Auxiliary Power Unit (APU)*, kargo dan kompartemen bagasi, lavatori di pesawat berpenumpang, *electronic bays*, *wheel wells*, dan *bleed air ducts*.
11. Sebuah sistem deteksi kebakaran harus menunjukkan keberadaan api. Unit ini dipasang di lokasi yang sangat mungkin timbul api/panas. Tiga jenis sistem detektor yang umum digunakan adalah tipe sakelar termal, termokopel system, dan *continuous loop system*.



Tes Formatif

1. Sebutkan peralatan penunjang keamanan dan kenyamanan di kabin penumpang!
2. Sebutkan komponen-komponen *escape slide*! Jelaskan pula bagaimana cara mengoperasikan *escape slide*!
3. Gambarkan struktur pengamanan kargo agar barang tidak bergeser!
4. Apa perbedaan jenis bahan bakar antara pesawat bermesin piston dan turbin? Jelaskan dengan singkat perbedaannya!
5. Sebutkan tiga tipe dasar tangki bahan bakar pesawat udara!
6. Jelaskan yang dimaksud dengan tangki bahan bakar integral!
7. Sebutkan lokasi dan fungsi lampu eksterior (*exterior lights*), lampu interior (*interior lights*), dan lampu darurat (*emergency lights*)!
8. Apa saja fungsi *pneumatic system* di pesawat udara? Tuliskan dan jelaskan dengan singkat dan tepat!
9. Komponen-komponen apa saja yang ada di *hydraulic system* pesawat udara? Tuliskan secara lengkap dan jelaskan fungsi komponen-komponen tersebut secara tepat!
10. Sebutkan dan jelaskan 3 jenis cairan/fluida yang digunakan pada *system hydraulic* di pesawat udara!

11. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *landing gear system*!
12. Apa fungsi *landing gear system* di pesawat udara? Uraikan secara singkat komponen-komponennya yang kalian ketahui beserta fungsinya!
13. Apa saja jenis-jenis *landing gear system*? Uraikan secara singkat dan tepat!
14. Mengapa pesawat jenis komersial (pesawat besar) memerlukan sistem *landing* yang dapat *retract and extend* saat beroperasi? Jelaskan dengan teori yang benar!
15. Di mana saja penempatan detektor kebakaran di pesawat udara? Apa alasannya menempatkan detektor di lokasi tersebut? Jelaskan dengan tepat!
16. Tuliskan dua jenis halon yang dipakai pada industri penerbangan untuk pemadam kebakaran! Jelaskan pula karakteristik dan kegunaan jenis halon tersebut!



Refleksi

Berilah tanda centang (✓) di materi yang telah kalian pahami!

- | | |
|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Equipment and furnishing system</i> |
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Fuel system</i> |
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Lights system</i> |
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Pneumatic system</i> |
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Hydraulic system</i> |
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Landing gear system</i> |
| <input type="checkbox"/> | Memahami <i>Fire protection system</i> |

Jika ada materi yang belum kalian pahami, silakan diskusikan bersama temanmu yang sudah paham atau tanyakan kepada gurumu.



Pengayaan

Untuk menambah wawasan mengenai ruang lingkup *aircraft system*, kalian bisa menelusuri informasinya di berbagai situs yang ada di internet, misalnya melalui melalui *QR-code* berikut ini.



SCAN ME

Civil Aviation Safety Regulation (CASR)



Coba amati para teknisi pesawat udara secara langsung atau melalui tayangan video, apa syarat paling sederhana untuk menjadi seorang teknisi pesawat udara sesuai aturan CASR?



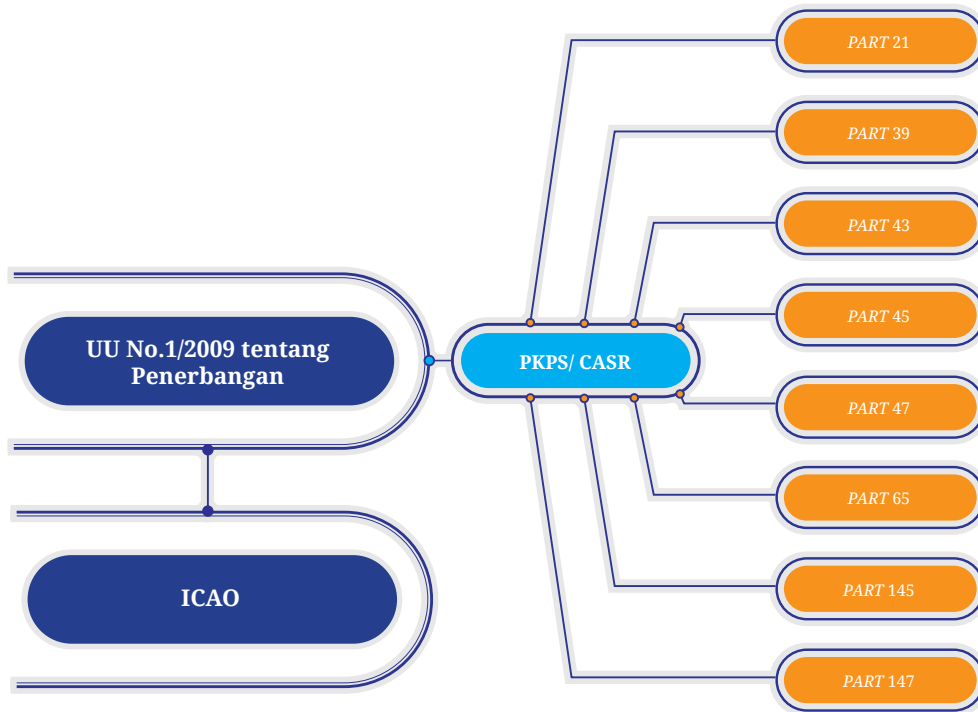
Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini diharapkan kalian dapat:

1. Memahami CASR *Part* 21, CASR *Part* 39, CASR *Part* 43, CASR *Part* 45, CASR *Part* 47, CASR *Part* 65, CASR *Part* 145, dan CASR *Part* 147 dalam dokumen Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil (PKPS) dengan benar.
2. Menerapkan CASR *Part* 21, CASR *Part* 39, CASR *Part* 43, CASR *Part* 45, CASR *Part* 47, CASR *Part* 65, CASR *Part* 145, dan CASR *Part* 147 dalam dokumen Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil (PKPS) dengan benar.



Peta Konsep



Kata Kunci

CASR, regulation, ANNEX, Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil.

Sebuah pesawat yang mengudara artinya sudah mendapat lisensi terbang setelah memenuhi persyaratan yang ditentukan. Apa saja persyaratannya? Siapa yang berhak mengeluarkan izin pesawat boleh terbang? Siapa saja yang diperbolehkan membuat, merawat, mengoperasikan, dan memperbaiki pesawat udara? Bagaimana regulasinya dijalankan? Untuk mengetahui jawaban pertanyaan-pertanyaan tersebut, simaklah pembahasannya pada bab ini.

Segala aturan penerbangan sipil harus mengacu ke dokumen Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil (PKPS) karena semua yang dilakukan baik kelaikudaraan, tempat pelaksanaan perawatan dan perbaikan pesawat udara dilaksanakan, personel yang berhak menerbangkan pesawat udara, serta personel yang merawat dan memperbaiki pesawat udara diatur sesuai

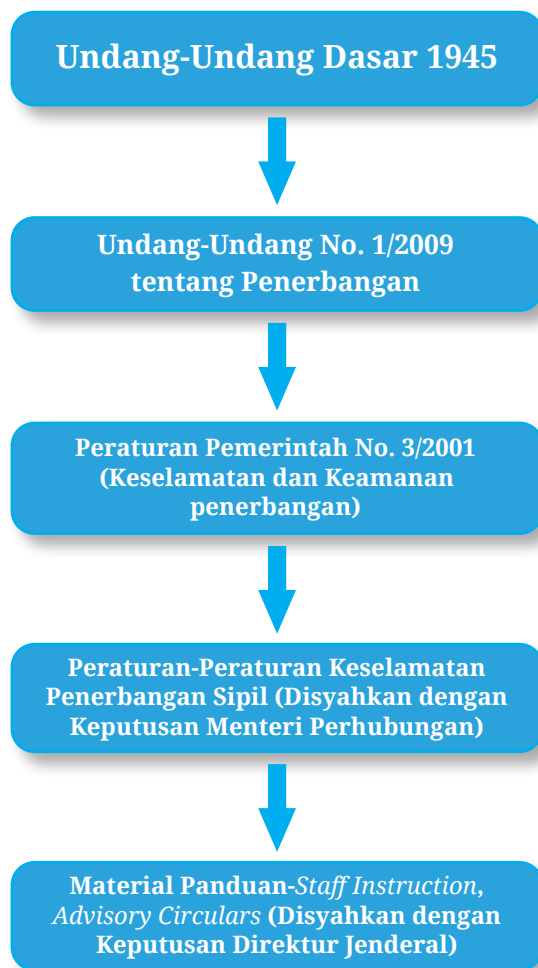
ketentuan Civil Aviation Safety Regulation (CASR) dengan *part-part* yang harus dilaksanakan.

Konvensi Chicago 1944 dijadikan acuan dalam pembuatan hukum nasional bagi negara-negara anggota International Civil Aviation Organization (ICAO). ICAO merupakan organisasi internasional yang berperan dalam terbentuknya aturan-aturan penerbangan sipil. Kebijakan ICAO tertuang dalam 19 Annex dengan isi sebagai berikut.

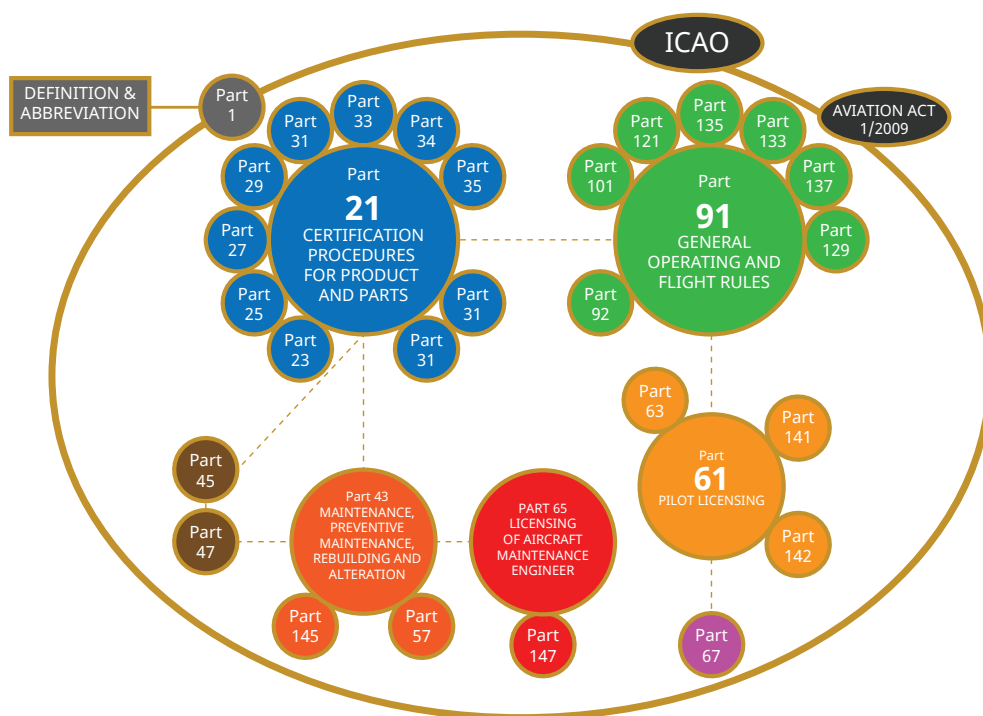
- *Annex 1 Personnel Licensing*
- *Annex 2 Rules of the Air*
- *Annex 3 Meteorological Service for International Air Navigation*
- *Annex 4 Aeronautical Charts*
- *Annex 5 Units of Measurement to be Used in Air and Ground Operations*
- *Annex 6 Operation of Aircraft*
- *Annex 7 Aircraft Nationality and Registration Marks*
- *Annex 8 Airworthiness of Aircraft*
- *Annex 9 Facilitation*
- *Annex 10 Aeronautical Telecommunications*
- *Annex 11 Air Traffic Services*
- *Annex 12 Search and Rescue*
- *Annex 13 Aircraft Accident and Incident Investigation*
- *Annex 14 Aerodromes*
- *Annex 15 Aeronautical Information Services*
- *Annex 16 Environmental Protection*
- *Annex 17 Security: Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference*
- *Annex 18 The Safe Transport of Dangerous Goods by Air*
- *Annex 19 Safety Management*

Masalah keselamatan (*safety*) diatur dalam Annex 17 dan Annex 18. Annex 17 mengatur tentang tata cara pengamanan penerbangan sipil dari tindakan gangguan melawan hukum. Adapun Annex 18 mengatur tata cara

pengangkutan bahan dan/atau barang berbahaya yang diangkut menggunakan pesawat udara sipil. International Civil Aviation Organization (ICAO) juga telah merumuskan aturan tambahan tentang keselamatan penerbangan dalam Annex 19 dengan istilah Safety Management System. Aturan tambahan di Annex 19 tersebut telah diterapkan oleh pemerintah Indonesia dengan memasukkannya ke Keputusan Menteri Perhubungan Nomor 20 tahun 2009 tentang Sistem Manajemen Keselamatan. Selain itu, di Indonesia juga diberlakukan undang-undang yang mengatur tentang standar keamanan dan keselamatan penerbangan sipil, yaitu UU No. 1 tahun 2009 tentang Penerbangan.



Gambar 5.1 Hierarki Undang-Undang Indonesia



Gambar 5.2 Hubungan Antar-Part CASR

Dari dua skema di atas dapat diketahui bahwa *Part 1* CASR meliputi semua *part* yang ada di dalamnya. *Part 1* CASR juga sama dengan Undang-Undang Penerbangan tahun 2009 yang di dalamnya terdapat definisi-definisi pengertian dan istilah-istilah yang harus dipahami dalam dunia penerbangan.

A. CASR PART 1 (Definitions and Abbreviations)

CASR *Part 1* mengacu ke *ICAO Annexes and Documents* yang menyeragamkan seluruh istilah, definisi, serta singkatan-singkatan sesuai dengan standar internasional. Di Indonesia *part 1* ini ada dalam Undang-Undang Penerbangan Nomor 1 Tahun 2009, yang isinya antara lain tentang definisi penerbangan dan pesawat udara. Dalam undang-undang tersebut, definisi penerbangan adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas pemanfaatan wilayah udara, pesawat udara, bandar udara, angkutan udara, navigasi penerbangan, keselamatan dan keamanan, lingkungan hidup, serta fasilitas penunjang dan fasilitas umum lainnya. Adapun definisi pesawat udara adalah setiap mesin atau alat yang dapat terbang di atmosfer karena gaya angkat dari reaksi udara, tetapi bukan karena reaksi udara terhadap permukaan bumi yang digunakan untuk penerbangan.

B. CASR PART 21 *Certification Procedures for Product and Parts*

CASR Part 21 mengatur tentang persyaratan prosedural untuk menerbitkan dan mengubah persetujuan desain, persetujuan produksi, sertifikat kelaikan udara, dan persetujuan kelaikan udara. Persetujuan kelaikan udara adalah dokumen yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara untuk suatu pesawat udara, mesin pesawat, *propeller*, yang disetujui secara desain dan dalam kondisi pengoperasian yang aman.

Dalam industri manufaktur penerbangan terdapat regulasi-regulasi yang lengkap dan ketat dibanding transportasi lainnya untuk dapat menghasilkan produk. Regulasi untuk industri penerbangan meliputi aspek:

- *Design* (rekayasa/desain)
- *Manufacturing efforts* (kegiatan manufaktur)
- *Operation*
- *Maintenance*

Setidaknya ada tiga sertifikat yang dibutuhkan sebuah produk pesawat udara untuk dapat digunakan/dioperasikan, yaitu:

1. *Type Certificate*

Type Certificate (TC) diberikan setelah pesawat udara dibangun, diuji (*ground flight*), dan dibuktikan telah sesuai serta memenuhi standar keselamatan dan kelaikudaraan. Pembuktiannya meliputi karakteristik dan limitasi keseluruhan pesawat udara, mesin, instrumen, sistem, dan peralatan beserta kelengkapannya.

Contoh *Type Certificate*

- a. Jenis produk (*airplane, engine, propeller*)
- b. “*IMPORT*”, “*VALIDATION*” disesuaikan
- c. Nomor TC
- d. Nama pemohon (*Applicant’s name*)
- e. Regulasi yang digunakan (*Applicable Regulation*)
- f. Identifikasi tipe produk (contoh: Model 120)

2. Production Certificate

Production Certificate diterbitkan setelah *Airworthiness Authority* (AA) yakin bahwa manufaktur/produsen mempunyai fasilitas yang memadai dan memiliki sistem/program pengendalian kualitas (mutu) untuk menjamin setiap hasil produknya telah dibuat sesuai standar TC yang ditentukan (*approved type design*).

The United States of America
Department of Transportation
Federal Aviation Administration

Production Certificate

Number 6CE

This certificate, issued to
ABC AIRCRAFT COMPANY
whose business address is
4954 AIRPORT DRIVE
KANSAS CITY, MISSOURI
and whose manufacturing facilities are located at
752 PRINCIPAL BLVD
ST. LOUIS, MISSOURI

authorizes the production, and the facilities listed above, of reasonable duplicates of airplanes which are manufactured in conformity with authenticated data, including drawings, to which Type Certificates specified in the pertinent and currently effective Production Limitation Record were issued. The facilities, methods, and procedures of this manufacturer were demonstrated as being adequate for the production of such duplicates on date of 5 May, 1999.

Duration: This certificate shall continue in effect indefinitely, provided, the manufacturer continuously complies with the requirements for original issuance of certificate, or until the certificate is canceled, suspended, or revoked.

By direction of the Administrator

J.J. Jones . J. J. Jones
Manager, Manufacturing Inspection

Date issued:
August 10, 1999

Office

This Certificate is not Transferable, AND ANY MAJOR CHANGE IN THE BASIC FACILITIES, OR IN THE LOCATION THEREOF, SHALL BE IMMEDIATELY REPORTED TO THE APPROPRIATE REGIONAL OFFICE OF THE FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION

The United States of America
Department of Transportation
Federal Aviation Administration

Production Certificate

Number 6CE

This certificate, issued to
ABC AIRCRAFT COMPANY
whose business address is

4954 AIRPORT DRIVE
KANSAS CITY, MISSOURI

and whose manufacturing facilities are located at

752 PRIMROSE LAKE
St. LOUIS, MISSOURI

authorizes the production, at the facilities listed above, of reasonable duplicates of airplanes which are manufactured in conformity with authenticated data, including drawings, for which Type Certificates specified in the pertinent and currently effective Production Limitation Record were issued. The facilities, methods, and procedures of this manufacturer were demonstrated as being adequate for the production of such duplicates on date of 5 May, 1999.

***Duration:* This certificate shall continue in effect indefinitely, provided, the manufacturer continuously complies with the requirements for original issuance of certificate, or until the certificate is canceled, suspended, or revoked.**

Date issued:

August 10, 1999

By direction of the Administrator

J.J. Jones . J. J. Jones

Manager, Manufacturing Inspection

Office

This Certificate is not Transferable, AND ANY MAJOR CHANGE IN THE BASIC FACILITIES, OR IN THE LOCATION THEREOF, SHALL BE IMMEDIATELY REPORTED TO THE APPROPRIATE REGIONAL OFFICE OF THE FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION

Gambar 5.4 Contoh Production Certificate

Sumber: faa.gov (2002)

3. Airworthiness Certificate

Airworthiness Certificate diterbitkan oleh *Airworthiness Authority* untuk setiap pesawat udara yang isinya menyatakan bahwa pesawat udara tersebut telah diperiksa dan dinyatakan sesuai dengan TC dan dalam kondisi laik terbang.

Pesawat udara tersebut menjalani semua proses pemeriksaan dan sukses menjalani uji terbang (*flight test*) ketika baru saja keluar dari produksi sesaat sebelum diserahkan ke pembeli (*customer*).

Identifikasi dapat dilihat dari nomor seri (*serial number*) pesawat udara tersebut serta berlaku selama kondisi-kondisi berikut dipenuhi, yaitu:

- a. Pesawat udara sesuai dengan *type design*.
- b. Pesawat udara dalam kondisi aman (*safe*) untuk beroperasi.
- c. Semua *Airworthiness Directives (AD)* telah dilaksanakan/diaplikasikan.
- d. Pemeliharaan (*maintenance*) dan alterasi (*alteration*) telah dilaksanakan sesuai dengan seluruh regulasi kelaikudaraan (*airworthiness regulation*) yang berlaku efektif.

Airworthiness Authority dapat membatalkan, menunda, menghapus, atau memusnahkan/menarik kembali *Certificate of Airworthiness (CoA)* apabila salah satu dari kondisi-kondisi tersebut tidak dipenuhi.

| UNITED STATES OF AMERICA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION-FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION STANDARD AIRWORTHINESS CERTIFICATE | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|------------|
| 1 NATIONALITY AND REGISTRATION MARKS | 2 MANUFACTURER AND MODEL | 3 AIRCRAFT SERIAL NUMBER | 4 CATEGORY |
| 5 AUTHORITY AND BASIS FOR ISSUANCE This airworthiness certificate is issued pursuant to 49 U.S.C. § 44704 and certifies that, as of the date of issuance, this aircraft has been inspected and found to conform to its type certificate and be in a condition for safe operation. This aircraft meets the requirements of the applicable airworthiness standards in Annex 8 to the Convention on International Civil Aviation, except as follows: | | | |
| 6 TERMS AND CONDITIONS Unless sooner surrendered, suspended, revoked, or a termination date is otherwise established by the FAA, this airworthiness certificate is effective as long as maintenance, preventive maintenance, and alterations are performed per the applicable Federal Aviation Regulations and the aircraft is registered in the United States. | | | |
| DATE OF ISSUANCE | FAA REPRESENTATIVE | DESIGNATION NUMBER | |
| Any alteration, misuse, or reproduction of this certificate for a fraudulent purpose may be punishable by certificate revocation, fine, and / or imprisonment. THIS CERTIFICATE MUST BE DISPLAYED IN THE AIRCRAFT PER THE APPLICABLE FEDERAL AVIATION REGULATIONS. | | | |
| FAA Form 8100-2 (11-2016) Previous Edition Dated 04-11 May be Used Until Depleted | | | |

Gambar 5.5 Contoh *certificate of airworthiness*

Sumber: faa.gov (2016)

C. CASR PART 23 Airworthiness Standards: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category

CASR Part 23 mengatur tentang Standar Kelaikan Udara untuk jenis pesawat terbang kategori normal, utiliti, akrobatik, dan komuter.

CASR *Part 23* diwakili oleh jenis pesawat komersial yang ada dalam industri penerbangan secara umum, baik pesawat sipil maupun latih. Jenis pesawat yang digunakan bervariasi mulai dari jenis *piston engine* dengan menggunakan *propeller* yang sering digunakan untuk *training pilot* dan jenis *gas turbine engine* yang digunakan untuk transportasi *business executive* (penerbangan sipil). Kapasitas tempat duduk dibatasi kurang dari sembilan penumpang di semua pesawat, kecuali pesawat jenis komuter (penerbangan sipil) maksimal kursi terisi sembilan belas penumpang tidak termasuk pilot dan co-pilot. Pada *part* ini standar kelaikan udara juga harus disesuaikan oleh pabrik/manufaktur dan telah mendapatkan *Type Certificate* serta juga telah memiliki *Airworthiness Certificate*. *Part 23* menerangkan bahwa pesawat-pesawat tersebut mempunyai maksimum berat saat *take off* yaitu 12.500 *pounds* atau kurang, kecuali untuk pesawat kategori komuter. Untuk kategori komuter batas berat *take off* maksimum naik menjadi 19.000 *pounds* atau kurang untuk pesawat ini. CASR Part 23 memiliki beberapa subbagian, yaitu:

- *SUBPART A - General/Umum*
- *SUBPART B - Flight/Terbang*
- *SUBPART C - Structure/Struktur*
- *SUBPART D - Design and Construction/Rancang Bangun dan Konstruksi*
- *SUBPART E - Powerplant/Perangkat Tenaga penggerak*
- *SUBPART F - Equipment/Peralatan, Perlengkapan*
- *SUBPART G - Operating Limitations And Information/Informasi dan Batasan-Batasan Operasi*
- *APPENDIX A - Simplified Design Load Criteria/Kriteria Beban Rancang Bangun Sederhana*
- *APPENDIX C - Basic Landing Conditions/Syarat Dasar Pendaratan*
- *APPENDIX D - Wheel Spin-Up and Spring-Back Loads/Kecepatan Putaran Roda dan Beban Balik Pegas*

- *APPENDIX F - Test Procedure/Prosedur Pengujian*
- *APPENDIX G - Instructions for Continued Airworthiness /Instruksi untuk kelanjutan kelaikudaraan*
- *APPENDIX H - Installation of an Automatic Power Reserve (APR) System / Pemasangan Sistem Tenaga Cadangan Otomatis*
- *APPENDIX I - Seaplane Loads /Beban Pesawat Terbang yang Mendarat di Air*

D. CASR PART 25 Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes

CASR Part 25 ini berlaku untuk pesawat besar dengan maksimum *take off* lebih dari 12.500 *pounds*. Penerbangan Part 25 ini biasanya disebut sebagai “penerbangan komersial/penerbangan sipil” dan paling banyak ditemui di bandara sebagai pesawat berpenumpang, kecuali untuk pesawat komuter yang termasuk dalam Part 23. Namun, kemampuan untuk mengangkut penumpang bukanlah suatu keharusan pesawat dalam ketentuan CASR Part 25. Banyak dari pesawat ini juga digunakan untuk mengangkut kargo (barang). *Subpart* CASR Part 25 sama dengan di CASR Part 23.

E. CASR PART 39 Airworthiness Directive

CASR Part 39 berisi tentang perintah kelaikudaraan yang wajib dimiliki pesawat udara sebagai syarat penerbitan sertifikat kelaikudaraan. Sertifikasi kelaikudaraan meliputi unit pesawat udaranya, mesin pesawat udara, *instrument*, *propeller* dan termasuk *tools equipment*. Hal ini dilakukan guna mencegah terjadinya kecelakaan. *Airworthiness Directive (AD)* dikeluarkan oleh otoritas penerbangan di negara yang bersangkutan atau dapat juga yang mengeluarkan otoritas negara lain. Sebagai contoh, terjadinya kerusakan komponen baterai lithium di pesawat Boeing 787. Manufaktur Boeing 787 berasal dari Amerika Serikat, tetapi pesawat Boeing 787 ini sudah tersebar di beberapa *airlines* seluruh dunia. Agar pesawat tersebut tetap aman, maka otoritas penerbangan Amerika Serikat menerbitkan sebuah *Airworthiness Directive* yang harus dilakukan oleh semua operator pesawat Boeing 787 di seluruh dunia agar tetap aman dan laik terbang. Beberapa isi materi dokumen CASR Part 39 antara lain:

- 39.1 *Applicability*
- 39.3 *Unsafe Condition*

- 39.5 Issuance of Airworthiness Directives
- 39.7 Issuance of Airworthiness Directives Based Upon Foreign Issued Airworthiness Directives
- 39.9 Airworthiness Directives for Foreign Products
- 39.11 Determination of Compliance
- 39.13 Variation to The Compliance Requirements
- 39.15 Compliance Records
- 39.17 Compliance with Airworthiness Directives

| | | | |
|--|----------------------------------|-------------|---|
| D-2006-325 | | | |
| GSAC | | | |
| AIRWORTHINESS DIRECTIVE | | | |
| released by DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE | | | |
| <small>Inspection and/or modifications described below are mandatory. No person may operate a product to which this Airworthiness Directive applies except in accordance with the requirements of this Airworthiness Directive.</small> | | | |
| <table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;"> Translation of 'Consigne de Navigabilité' ref. : 2003-358(A) In case of any difficulty, reference should be made to the French original issue. </td> </tr> </table> | | | Translation of 'Consigne de Navigabilité' ref. : 2003-358(A) In case of any difficulty, reference should be made to the French original issue. |
| Translation of 'Consigne de Navigabilité' ref. : 2003-358(A) In case of any difficulty, reference should be made to the French original issue. | | | |
| EUROCOPTER EC 130 helicopters Air intake cowling (ATA 53) | | | |
| <p>1. EFFECTIVITY:</p> <p>EC 130 B4 helicopters equipped with air intake cowling attachment fittings 350A25-0405-00, -01, -02, -03, -04, -05</p> | | | |
| <p>2. REASONS:</p> <p>This Airworthiness Directive (AD) is issued following cases of cracks and failures concerning air intake cowling attachment fittings.</p> <p>This could lead to the loss of the air intake cowling in flight.</p> | | | |
| <p>3. MANDATORY ACTIONS AND COMPLIANCE TIMES:</p> <p>The following actions are rendered mandatory from the effective date of this AD.</p> <p>3.1. Visually check the condition of the two forward fittings in compliance with the instructions described in § 2.B of referenced Alert Service Bulletin (ASB) EUROCOPTER EC 130 n° 53AD04:</p> <p style="margin-left: 20px;">3.1.1. For aircraft which have less than 100 flight hours (FH): at least at 110 FH.</p> <p style="margin-left: 20px;">3.1.2. For aircraft which have 100 FH or more: within the 10 FH.</p> <p>3.2. If the two forward fittings are neither failed nor cracked, visually check the condition of the two forward fittings every 110 FH in compliance with the instructions of referenced ASB.</p> <p>3.3. If one, or the two, forward fitting(s) is (are) failed or cracked, check the condition of the center and aft fittings before next flight.</p> <p>3.4. If one, or more, (forward, center or aft) fitting(s) is (are) failed, replace it (them) before next flight.</p> | | | |
| <small>n/DJ</small> | <small>.../...</small> | | |
| October 15, 2003 | EUROCOPTER EC 130 helicopters | 2003-358(A) | |

Gambar 5.6 Contoh Airworthiness Directives yang dikeluarkan oleh Direction Generale De L'aviation Civile
 Sumber: yumpu.com (2015)

Kondisi yang tidak aman terjadi ketika beberapa hal ini ditemukan. Pertama, ditemukan bukti selama proses evaluasi terhadap kegagalan, malfungsi, kerusakan, kesulitan pelayanan atau analisis atau pengujian lebih lanjut yang menunjukkan bahwa desain tidak sesuai dengan persyaratan kelaikudaraan yang berlaku sehingga ketidaksesuaian ini mengurangi tingkat keselamatan dari produk tersebut. Kedua, ditemukan bukti selama proses evaluasi terhadap kegagalan, malfungsi, kerusakan, kesulitan pelayanan atau analisis atau pengujian lebih lanjut, yang menunjukkan bahwa desain yang telah sesuai dengan persyaratan kelaikudaraan namun menunjukkan karakteristik yang mengurangi tingkat keselamatan yang diharuskan dari produk tersebut.

F. CASR PART 43 Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration

CASR Part 43 berisikan tentang *maintenance, preventive maintenance, rebuilding, and alteration*. Pengertian *maintenance* (perawatan) adalah semua kegiatan yang dilakukan untuk mempertahankan pesawat udara, komponen-komponen pesawat udara dan perlengkapannya dalam keadaan laik udara, juga termasuk inspeksi, reparasi, *service, overhaul*, dan penggantian *part*. Perawatan pesawat udara bertujuan menjaga kelaikan terbang pesawat yang bersangkutan. Proses penjagaan kelaikan dimulai sejak pesawat udara masih dalam tahap desain, tahap pengembangan, dan sertifikasi pesawat baru dan berlanjut terus pada saat pesawat udara dioperasikan. Untuk melakukan kegiatan perawatan, setiap pesawat udara memiliki program perawatan (*maintenance program*) yang berisi informasi detail tentang apa, kapan, dan bagaimana sebuah pesawat udara dirawat.

Dalam bentuk yang sederhana, sebuah program perawatan adalah jadwal perawatan yang telah ditetapkan dengan serangkaian prosedur yang ditinjau secara terus-menerus, baik penggunaan maupun efektivitas pesawat udara yang dimaksud. Sebuah program perawatan merupakan kombinasi antara prosedur manajemen (*management procedures*) dan tugas perawatan (*maintenance tasks*). Agar program perawatan dapat dijalankan dengan baik dan efektif, dibutuhkan struktur organisasi yang terintegrasi dan personel yang berkualitas untuk menjalankan dan mengatur pelaksanaan perawatan pesawat udara.

Personel yang berwenang melakukan *maintenance, preventive maintenance, rebuilding, dan alteration* antara lain:

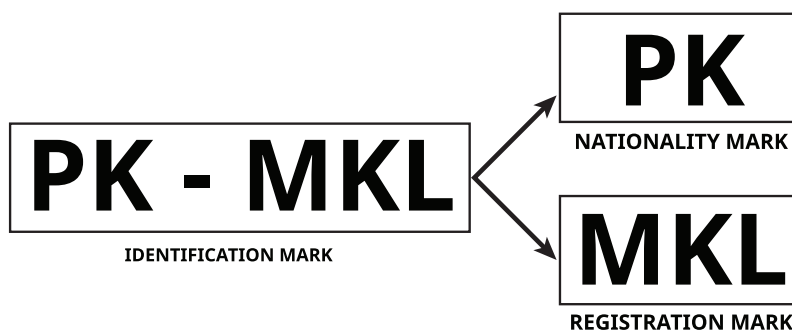
1. Sebagaimana yang telah ditentukan dalam *part* ini, tidak ada orang secara pribadi atau organisasi mana pun yang boleh melakukan *maintenance*, *preventive maintenance*, *rebuilding*, dan *alteration* pesawat terbang; badan pesawat, mesin pesawat, baling-baling, peralatan, atau komponennya, selain pabrik pembuat pesawat udara. Pada *part* ini berlaku kinerja untuk perawatan dan perbaikan pesawat melalui pabrikan/manufaktur pembuat pesawat tersebut, baik dalam *major alteration* (perubahan besar) dan *major repair* (perbaikan besar) atau *preventive maintenance* yang tercantum pada *Appendix A* (lampiran A) pada dokumen CASR Part 43.
2. Pemegang izin perawatan pesawat udara dapat melakukan pemeliharaan, pemeliharaan preventif, dan perubahan sebagaimana diatur dalam Part 65.
3. Seseorang yang bekerja di bawah pengawasan pemegang izin perawatan pesawat dapat melakukan pemeliharaan, pemeliharaan preventif, dan perubahan yang diberi wewenang oleh atasannya. Namun, tidak diizinkan melakukan inspeksi apa pun yang diwajibkan oleh bagian 91 atau inspeksi apa pun yang dilakukan setelah perbaikan atau perubahan besar.
4. Pemegang sertifikat organisasi pemeliharaan yang disetujui dapat melakukan pemeliharaan, pemeliharaan preventif, dan perubahan sebagaimana diatur dalam *part* 145.
5. Pemegang sertifikat operator udara yang diterbitkan berdasarkan *part* 121 atau *part* 135, dapat melakukan pemeliharaan, pemeliharaan preventif, dan perubahan seperti yang diatur dalam *part* 121 atau *part* 135.
6. Produsen diizinkan:
 - a. Membangun kembali atau mengubah setiap pesawat, mesin pesawat, baling-baling, atau peralatan yang diproduksi berdasarkan jenis atau sertifikat produksi;
 - b. Membangun kembali atau mengubah peralatan atau bagian apa pun dari pesawat, mesin pesawat, baling-baling, atau peralatan yang diproduksi di bawah otorisasi *Technical Standard Order* (TSO), Persetujuan Produsen Suku Cadang atau PMA (*Parts Manufacturer Approval*), atau spesifikasi produk dan proses yang dikeluarkan oleh Direktur Jenderal Perhubungan Udara; dan
 - c. Melakukan inspeksi yang disyaratkan oleh *part* 91 di pesawat yang diproduksi saat beroperasi di bawah sertifikat produksi atau di bawah sistem inspeksi produksi yang saat ini disetujui untuk pesawat tersebut.

G. CASR PART 45 Identification & Registration Marking

CASR Part 45 memiliki persyaratan untuk:

1. Identifikasi pesawat udara, mesin pesawat udara, dan *propeller* yang diproduksi berdasarkan persyaratan sertifikat produksi (*production certificate*).
2. Identifikasi suku cadang pengganti dan modifikasi tertentu yang diproduksi untuk pemasangan *type certificated products*.
3. Tanda kebangsaan dan tanda registrasi pesawat udara Indonesia yang terdaftar.

Setiap pesawat udara yang ada di Negara Kesatuan Republik Indonesia harus diberi tanda pengenal (*identification mark*). Tanda pengenal tersebut terdiri dari tanda kebangsaan (*nationality mark*) dan tanda pendaftaran (*registration mark*). Penulisan dan penempatan *nationality* dan *registration mark* ini harus seizin Dirjen Perhubungan Udara dan tidak boleh diubah tanpa izin.



Gambar 5.7 Contoh Penulisan Identification Mark

H. CASR PART 47 Aircraft Registration

CASR Part 47 membahas tentang persyaratan permohonan pendaftaran pesawat udara. Terdapat beberapa hal guna tercapainya penerbitan registrasi pesawat udara, mulai dari persyaratan penerbitan registrasi pesawat udara, persyaratan perpanjangan registrasi pesawat udara, penghapusan tanda pendaftaran pesawat udara serta, perubahan data pendaftaran, dan pemindahtanganan sertifikat pendaftaran pesawat udara.

Berikut adalah prosedur yang diatur dalam CASR Part 47 tentang pendaftaran pesawat udara (*aircraft registration*), yang telah ditetapkan dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan dalam melakukan proses pendaftaran pesawat udara dan menjaga pengelolaan serta pembaharuan data pendaftaran pesawat udara sipil Indonesia.

4. 47.05 Sertifikat Pendaftaran Pertama


Permohonan pendaftaran pesawat udara dibuat melalui DGCA *Form 47-11* “Permohonan Sertifikat Pendaftaran” sebagaimana tercantum pada Lampiran II Peraturan ini, dengan melampirkan:

- a. Salinan bukti kepemilikan pesawat udara yang dilegalisasi dalam bentuk *certified true copy* yang diterbitkan oleh notaris publik sebagai bukti kepemilikan pesawat udara terakhir;
- b. Pernyataan tidak pernah terdaftar bagi pesawat udara yang belum pernah didaftarkan atau bukti penghapusan tanda pendaftaran bagi pesawat udara yang pernah didaftarkan di negara lain dari Otoritas Penerbangan Sipil Negara tempat pesawat udara tersebut terakhir didaftarkan; Surat pernyataan tidak pernah didaftarkan/konfirmasi penghapusan asli atau dengan surat elektronik yang ditujukan kepada Direktur Jenderal Perhubungan Udara Direktur Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara dari otoritas penerbangan sipil dari negara tempat pesawat udara tersebut terakhir didaftar;
- c. Salinan bukti asuransi pesawat udara yang telah dilegalisasi oleh pihak penanggung (*insurer*);
- d. Persetujuan pengadaan pesawat udara dari Direktur Jenderal Perhubungan Udara untuk pesawat yang akan didaftarkan;
- e. Pemenuhan ketentuan persyaratan batas usia pesawat udara yang ditetapkan sesuai peraturan Menteri Perhubungan;
- f. Dalam hal pendaftar bukan pemilik pesawat udara maka selain memenuhi persyaratan huruf a sampai huruf e, harus menyampaikan salinan bukti penguasaan pesawat udara yang disahkan di hadapan notaris setempat atau pilihan sesuai kesepakatan kedua belah pihak dan dilegalisasi dalam bentuk *certified true copy* yang diterbitkan oleh notaris publik. Jika pesawat udara dimiliki warga negara asing atau badan hukum asing dan

dioperasikan oleh warga negara Indonesia atau badan hukum Indonesia, jangka waktu pemakaiannya minimal 2 (dua) tahun secara terus-menerus.

Untuk pesawat udara *amateur-built* permohonan pendaftaran pesawat udara harus dibuat melalui DGCA Form 47-11 “Permohonan Sertifikat Pendaftaran” dengan melampirkan:

- Bukti kepemilikan affidavit yang dilegalisasi oleh notaris publik;
- bukti asuransi pesawat udara;
- Persetujuan pengadaan pesawat udara dari Direktur Jenderal Perhubungan Udara untuk pesawat yang akan didaftarkan.

|  KEMENTERIAN PERHUBUNGAN DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN UDARA <small>Gedung Perkantoran Soekarno -Hatta International Airport, Jl. C3, Tangerang, Banten - Indonesia Telp: (+6221) 225 66288, (+6221) 256 08887 Fax: (+6221) 225 66399 Website : hubud.dephub.go.id ; e-mail: daan_dgca@dephub.go.id</small> | |
|---|---|
| PERMOHONAN PERPANJANGAN/PENGGANTIAN SERTIFIKAT PENDAFTARAN <i>APPLICATION FOR RENEWAL/REPLACEMENT OF CERTIFICATE OF REGISTRATION</i> | |
| <input type="checkbox"/> Perpanjangan Sertifikat Pendaftaran <i>(Renewal of Certificate of Registration)</i> | <input type="checkbox"/> Pergantian Sertifikat Pendaftaran <i>(Replacement Certificate of Registration)</i> |
| I. KETERANGAN PEMOHON (Applicant Information): | |
| <input type="checkbox"/> Pemilik <input type="checkbox"/> Operator | |
| 1. Nama (Name) | |
| 2. Alamat (Address) | |
| II. KETERANGAN PESAWAT UDARA (Aircraft Information): | |
| 1. Tanda Kebangsaan & Pendaftaran : <i>Nationality & Registration Mark</i> | 2. Nomor Pendaftaran: <i>Registration Number</i> |
| 3. Masa berlaku Sertifikat Pendaftaran: <i>Validity of C of R</i> | 4. Masa berlaku Sertifikat Kelaikudaraan: <i>Validity of C of A</i> |
| 5. Nama Pembuat dan Model: <i>Manufacturer & Model</i> | 5. Tahun Pembuatan <i>Manufacturer Date</i> |
| 7. Nomor Seri: <i>Serial Number</i> | Pesawat Tetap (Fixed Wing) Helikopter (Helicopter) Lain-lain (sebutkan) (Others (specify)) |
| III. KETERANGAN KEPEMILIKAN PESAWAT UDARA (Aircraft Ownership Information): | |
| 1. Dasar Kepemilikan**: <i>(Term of Ownership)</i> | Beli Tunai (Cash Purchase) Lain-lain (sebutkan): (Others (specify)) |
| 2. Nama Pemilik dan Alamat: <i>(Name of Owner & Address)</i> | |
| 3. Bukti Kepemilikan: <i>(Evidence of ownership)</i> | Tanggal: (Date) |
| IV. DASAR PENGUSAHAAN PESAWAT UDARA (Term Possession of Aircraft): | |
| 1. Dasar Pengusahaan**: <i>(Term of Possession)</i> | Sewa Guna Usaha (Leasing) Pembelian Bersyarat (Conditional Sale) Lain-lain (Others) |
| 2. Bukti Perjanjian: <i>(Evidence of Agreement)</i> | |
| 3. Pemberi Sewa (Lessor) / Penjual Bersyarat (Conditional Seller) / Lainnya* (other): | Nama (Name): Alamat: (Address) |
| Masa Berlaku Perjanjian (Terms Agreement): | |
| 4. Penerima Sewa (Lessee) / Pembeli Bersyarat (Conditional Buyer) / Lainnya* (other): | Nama (Name): Alamat: (Address) |
| Masa Berlaku Perjanjian (Terms Agreement): | |
| 5. Pemberi Sewa (Lessor) / Penjual Bersyarat (Conditional Seller) / Lainnya* (other): | Nama (Name): Alamat: (Address) |
| Masa Berlaku Perjanjian (Terms Agreement): | |
| 6. Penerima Sewa (Lessee) / Pembeli Bersyarat (Conditional Buyer) / Lainnya* (other): | Nama (Name): Alamat: (Address) |
| Masa Berlaku Perjanjian (Terms Agreement): | |

DGCA Form No. 47-13 (Aug 2018)Page 1 of 2

Gambar 5.8 Form Permohonan Sertifikat Pesawat Udara yang Dikeluarkan oleh DGCA No.47-11
 Sumber: jdih.dephub.go.id (2018)

| | | |
|--|---|---|
|  <p>REPUBLIK INDONESIA <i>Republic of Indonesia</i> KEMENTERIAN PERHUBUNGAN <i>Ministry of Transportation</i> DIREKTORAT JENDERAL PERHUBUNGAN UDARA <i>Directorate General of Civil Aviation</i> DIREKTORAT KELAIKUDARAAN DAN PENGOPERASIAN PESAWAT UDARA <i>Directorate of Airworthiness and Aircraft Operations</i></p> | | 1. No. Pendaftaran (Registration Number) |
| <p>SERTIFIKAT PENDAFTARAN (Certificate of Registration)</p> | | |
| 2. Tanda Kebangsaan dan Pendaftaran (Nationality and Registration Marks) | 3. Pabrik Pembuat dan Tipe/Model Pesawat Udara (Manufacturer and Manufacturer's Designation of Aircraft) | 4. Nomor Seri Pesawat Udara (Aircraft Serial Number) |
|  | | |
| 5. Nama pemilik (Name of Owner) | | |
| 6. Alamat Pemilik (Address of Owner) | | |
| 7. Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa pesawat udara tersebut di atas telah didaftar dalam Daftar Pesawat Udara Sipil Republik Indonesia sesuai dengan Perjanjian Penerbangan Sipil Internasional tanggal 7 Desember 1944, Undang-Undang Republik Indonesia No. 1 tahun 2009 tentang Penerbangan serta Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil (PKPS) yang berlaku. <i>It is hereby certified that the above described aircraft has been registered in the Civil Aircraft Register of the Republic of Indonesia in accordance with the Convention on International Civil Aviation dated 7 December 1944, the Republic of Indonesia Aviation Law No. 1 Year 2009 and applicable Civil Aviation Safety Regulations (CASR).</i> | | |
| 8. Tanggal Diterbitkan (Date of issuance) | 10. <i>A.n</i> Direktur Jenderal Perhubungan Udara (On behalf of the Director General of Civil Aviation) | |
| 9. Berlaku sampai dengan (Valid until) | Tanda tangan (Signature) | |

DPAO Form 47-02 (02/17)

Gambar 5.9 Contoh Sertifikat Pendaftaran Pesawat yang Dikeluarkan oleh DGCA No.47-02

Sumber: jdih.dephub.go.id (2018)

5. 47.07 Persyaratan Perpanjangan Sertifikat Pendaftaran

- a. Permohonan perpanjangan sertifikat pendaftaran hanya dapat diajukan oleh pemilik atau operator pesawat udara.
- b. Sertifikat pendaftaran dapat diperpanjang dengan cara mengajukan permohonan perpanjangan sertifikat pendaftaran, dengan melampirkan persyaratan perpanjangan sebagai berikut.
 - 1) DGCA *Form* 47-13 Permohonan Perpanjangan/Pergantian Sertifikat Pendaftaran Pesawat Udara sebagaimana tercantum dalam Lampiran II peraturan ini. Semua bagian yang berlaku dari formulir permohonan harus diisi dengan benar dan ditandatangani oleh pemilik/pimpinan tertinggi operator/pimpinan instansi pemerintah atau pihak yang diberi kuasa, diberi meterai dan cap perusahaan.
 - 2) Bukti kepemilikan pesawat udara;
 - 3) Dalam hal pendaftar bukan pemilik pesawat udara maka harus menyampaikan salinan bukti penguasaan pesawat udara yang masih

berlaku. Jika bukti penguasaan adalah bukti penguasaan yang telah mengalami perubahan atau bukti penguasaan yang baru, harus menyampaikan salinan bukti penguasaan pesawat udara yang telah disahkan di hadapan notaris setempat atau pilihan sesuai kesepakatan kedua belah pihak dan dilegalisasi dalam bentuk *certified true copy* yang diterbitkan oleh notaris publik;

- 4) Salinan bukti asuransi pesawat udara yang telah dilegalisasi oleh pihak penanggung (*insurer*);
- 5) Pemenuhan ketentuan persyaratan batas usia pesawat udara yang ditetapkan sesuai peraturan Menteri Perhubungan;
- 6) Salinan sertifikat pendaftaran; dan
- 7) Salinan sertifikat kelaikudaraan.

6. 47.07 Persyaratan Perpanjangan Sertifikat Pendaftaran

- a. Permohonan perpanjangan sertifikat pendaftaran hanya dapat diajukan oleh pemilik atau operator pesawat udara.
- b. Sertifikat pendaftaran dapat diperpanjang dengan cara mengajukan permohonan perpanjangan sertifikat pendaftaran, dengan melampirkan persyaratan perpanjangan sebagai berikut.
 - 1) DGCA *Form* 47-13 Permohonan Perpanjangan/Pergantian Sertifikat Pendaftaran Pesawat Udara sebagaimana tercantum dalam Lampiran II peraturan ini. Semua bagian yang berlaku dari formulir permohonan harus diisi dengan benar dan ditandatangani oleh pemilik/pimpinan tertinggi operator/pimpinan instansi pemerintah atau pihak yang diberi kuasa, diberi meterai dan cap perusahaan.
 - 2) Bukti kepemilikan pesawat udara;
 - 3) Dalam hal pendaftar bukan pemilik pesawat udara maka harus menyampaikan salinan bukti penguasaan pesawat udara yang masih berlaku. Jika bukti penguasaan adalah bukti penguasaan yang telah mengalami perubahan atau bukti penguasaan yang baru, harus menyampaikan salinan bukti penguasaan pesawat udara yang telah disahkan di hadapan notaris setempat atau pilihan sesuai kesepakatan kedua belah pihak dan dilegalisasi dalam bentuk *certified true copy* yang diterbitkan oleh notaris publik;

I. CASR PART 65 Licensing of Aircraft Maintenance Engineers

Di dalam aturan ANNEX 1 tentang *personnel licensing* dikatakan bahwa seorang perawat pesawat udara (*maintenance engineers*) harus memiliki *license* dalam hal perawatan pesawat udara. Aturan tersebut juga diatur dalam CASR Part 65 tentang lisensi untuk teknisi perawatan pesawat udara. Adapun dokumen CASR Part 65 berisi tentang persyaratan-persyaratan (*requirement*) untuk mendapatkan *license*, yaitu:

1. Subpart A – General

Subpart A ini menjelaskan jenis-jenis lisensi ahli perawatan pesawat udara mulai dari *Basic Certificate*, *Aircraft Maintenance Engineering License*, *Certificate of Maintenance Approval*, dan *Type Rating Certificate*. Masing-masing lisensi tersebut dapat diperoleh melalui ujian yang biasanya diselenggarakan oleh *Directorate General of Civil Aviation (DGCA)*. Contohnya, untuk mendapatkan *Basic Certificate* harus memenuhi tingkat kelulusan minimum 70%. Jika tidak memenuhi tingkat kelulusan minimum, dapat melaksanakan ujian kembali dengan waktu tidak lebih dari 30 hari.

2. Subpart B – Basic Certificate

Subpart B berisi tentang persyaratan untuk mendapatkan *Basic Certificate*. Adapun persyaratannya yaitu:

- a. Usia tidak kurang dari 19 tahun;
- b. Dapat membaca, menulis, berbicara, dan memahami bahasa Inggris teknik sebagaimana yang biasa digunakan di dalam buku manual pabrik;
- c. Telah lulus tes tertulis dalam periode 24 bulan yang ditentukan dalam pasal 65.35 tentang syarat pengetahuan. Adapun persyaratan pengetahuan yang diminta, yaitu:
 - 1) Setiap pemohon *Basic Certificate* harus mampu menerapkan pasal 65.37 dan lulus ujian tertulis yang mencakup konstruksi dan pemeliharaan pesawat sesuai kategori yang diharapkannya, sesuai ketentuan CASR yang berlaku, dan sesuai dengan hukum internasional ICAO, sebagaimana ditentukan dalam Lampiran A *part* ini.
 - 2) Ujian tertulis harus diselenggarakan baik oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara atau organisasi pelatihan perawatan pesawat terbang yang ditunjuk sesuai dengan CASR *Part* 147.

- 3) Telah berpengalaman sesuai persyaratan yang ada di pasal 65.37, yaitu setiap pemohon *Basic Certificate* harus menunjukkan:
- a) Sertifikat kelulusan pelatihan dasar pesawat terbang atau sertifikat penyelesaian dari organisasi pelatihan perawatan pesawat terbang bersertifikat yang disetujui sesuai dengan CASR 147; atau
 - b) Bukti dokumentasi yang sah untuk Direktorat Jenderal Perhubungan Udara mengenai:
 - (1) Sekurang-kurangnya 48 bulan pengalaman praktis dengan prosedur, praktik, bahan, peralatan, peralatan mesin, dan peralatan yang umumnya digunakan dalam membangun, memelihara, atau mengubah rangka pesawat (pesawat atau helikopter) dan kategori mesin; atau
 - (2) Paling kurang berpengalaman 48 bulan menerapkan prosedur, praktik, bahan, peralatan, peralatan mesin, dan peralatan yang umumnya digunakan dalam membangun, memelihara, atau mengubah kategori avionik (radio, instrumen, dan listrik); atau
 - (3) Paling kurang 72 bulan berpengalaman secara bersamaan melakukan tugas yang sesuai untuk *airframe* dan *engine*, dan kategori avionik (radio, instrumen dan listrik).

Untuk masing-masing kategori *Basic Certificate* antara lain:

- (a) *Category A1 - Airframe, Airplane*
- (b) *Category A2 - Airframe, Helicopter*
- (c) *Category A3 - Piston Engines*
- (d) *Category A4 - Turbine Engines*
- (e) *Category C1 - Radio*
- (f) *Category C2 - Instruments*
- (g) *Category C4 - Electrical*

Basic Certificate ini dapat diperoleh dengan mengikuti pendidikan (*training*) melalui *Aircraft Maintenance Training Organizations* (AMTO) sesuai CASR pasal 147 yang telah disetujui oleh Directorate General Civil Aviation (DGCA) melalui Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKUPPU). Masa berlaku untuk *Basic Certificate* ini adalah seumur hidup.

3. Subpart C – Aircraft Maintenance Engineer License

Subpart C ini berisi tentang persyaratan dan batasan bagi pemilik *Aircraft Maintenance Engineer License* atau biasa dikenal dengan AMEL. AMEL dimiliki oleh seorang *engineer* setelah mendapatkan *basic certificate* dan *endorsement type rating*. Menurut CASR Part 65 persyaratan yang harus dimiliki oleh AMEL antara lain:

- a. Usia tidak kurang dari 21 tahun.
- b. Telah lulus ujian tertulis, atau yang sederajat, termasuk ujian di bidang *air law*, yang diterima Direktur Jenderal dan relevan dengan tugas dan tanggung jawab pemegang lisensi dalam kategori lisensi yang diinginkannya.
- c. Si pemohon telah lulus ujian yang meliputi pemahaman dan praktik mengenai tugas dan tanggung jawab pemegang lisensi.
- d. Telah memenuhi persyaratan pengalaman yang ditentukan dalam Subbagian ini.
- e. Mampu membaca, menulis, berbicara dan memahami bahasa Indonesia atau bahasa Inggris; serta membaca, menulis, dan memahami bahasa Inggris teknis seperti yang digunakan dalam manual pabrik.
- f. Secara memuaskan telah menyelesaikan satu dari hal berikut.
 - 1) Total 20 bulan pengalaman praktis terkait dengan prosedur, praktik, bahan, peralatan, peralatan mesin, dan peralatan yang umumnya digunakan dalam membangun, memelihara, atau memodifikasi badan pesawat, *powerplant*, atau peralatan avionik; atau
 - 2) Telah kursus pelatihan terpadu, termasuk setidaknya 12 bulan pelatihan dan pengalaman yang diawasi, yang dilakukan oleh pemegang sertifikat organisasi pelatihan pemeliharaan yang disetujui yang dikeluarkan berdasarkan CASR Part 147 yang memberi wewenang untuk melakukan kursus tersebut.

Berbeda dengan *Basic Certificate* yang dijelaskan sebelumnya, bahwa AMEL ini memiliki masa berlaku setiap dua tahun sekali tetapi bisa otomatis diperpanjang jika *human factor course* masih valid dan apabila ia masih bekerja aktif di tipe pesawat tersebut sesuai *type rating*-nya. Aturan ini tertuang dalam Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara No. KP 241 tahun 2019 tentang petunjuk teknis PKPS bagian 65 prosedur pemberian sertifikasi

kecakapan personel ahli perawatan pesawat udara (AMEL) *chapter V*. Adapun pengajuan permohonan harus dilakukan kembali apabila:

- a. Dalam selang waktu 24 bulan tidak melakukan sekurang-kurangnya satu inspeksi tahunan atau inspeksi 100 jam yang disyaratkan oleh CASR Part 91 dan menyetujui dan mengembalikan pesawat ke layanan, di mana ia pemegang lisensinya.
- b. Dalam selang waktu 24 bulan tidak melakukan setidaknya 6 bulan (180 hari kerja) atau mengawasi pemeliharaan, pemeliharaan preventif atau perubahan, dan menyetujui mengembalikan pesawat ke layanan, di mana ia pemegang lisensinya, sesuai ketentuan CASR Part 121, 135 dan 145.
- c. Lisensi Pemeliharaan Pesawat Udara miliknya telah dibekukan, dicabut, atau tidak berlaku lagi;
- d. Melakukan tugas pemeliharaan, pemeliharaan preventif atau perubahan dan menyetujui mengembalikan pesawat ke layanan yang dinilai tidak sesuai ketentuan CASR Part 91, 121, 135 dan 145.

4. Subpart D – Certificates of Maintenance Approval

Subpart D mengatur tentang lisensi untuk kecakapan personel perawat pesawat udara. Untuk mendapatkan *Certificates of Maintenance Approval (COMA)* secara umum personel itu harus memenuhi persyaratan antara lain:

- a. Berusia tidak kurang dari 20 tahun;
- b. Dapat membaca, menulis, berbicara dan memahami Inggris teknik sebagaimana yang dipakai di dalam manual pabrik;
- c. Memiliki kualifikasi khusus sesuai dengan *subpart 65.73*, untuk melakukan perawatan pada pesawat udara atau komponennya, sesuai dengan pekerjaan di mana ia dipekerjakan;
- d. Dipekerjakan untuk pekerjaan tertentu yang membutuhkan kualifikasi khusus tersebut oleh organisasi pemeliharaan yang disetujui dan dikeluarkan berdasarkan CASR Part 145, atau oleh pemegang sertifikat yang dikeluarkan berdasarkan CASR Part 121 dan 135, untuk menyediakan program pemeliharaan kelaikan udara berkelanjutan sesuai dengan manual pemeliharaannya;
- e. Direkomendasikan untuk sertifikasi oleh atasannya sebab bekerja sesuai ketentuan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, yaitu dinilai mampu

memelihara pesawat atau komponennya secara memuaskan, sesuai dengan pekerjaan yang menjadi tugasnya.

Masa berlaku *Certificates of Maintenance Approval (COMA)* adalah tiga tahun dan dapat diperpanjang kembali.

Bidang-bidang yang harus mengantongi COMA adalah:

- a. *Argon Heliarc Welding*
- b. *Cylinder Plating*
- c. *Nondestructive Testing (NDT)*
- d. *Propeller Overhaul*
- e. *Electrical System Analysis and Repair* atau *Radio and/or Instrument Repair*

J. CASR PART 145 AMO (*Approved Maintenance Organizations*)

1. Umum

CASR Part 145 ini menjelaskan tentang bagaimana cara mendapatkan persetujuan atau sertifikat AMO (*Approved Maintenance Organizations*). *Part* ini juga berisi peraturan yang harus diikuti oleh pemegang sertifikat AMO terkait dengan kinerjanya dalam melakukan pemeliharaan/perawatan, pemeliharaan preventif, atau perubahan dari sebuah pesawat, badan pesawat, mesin pesawat, baling-baling, alat, atau bagian komponen sesuai dengan CASR Part 43. Aturan ini juga berlaku untuk setiap orang atau pemegang sertifikat AMO, atau pihak yang dipersyaratkan untuk memiliki sertifikat AMO yang diterbitkan berdasarkan ketentuan CASR *Part* 145 ini.

2. Definisi

Di CASR *Part* 145 terdapat beberapa istilah penting yang berkaitan langsung dengan operasional AMO, yaitu:

- a. *Accountable manager*, yaitu orang yang ditunjuk oleh AMO yang bertanggung jawab untuk dan atas nama AMO serta memiliki kewenangan atas semua operasi AMO yang dilakukan di bawah ketentuan yang diatur Part 145 ini, termasuk memastikan bahwa personel AMO mengikuti peraturan dan juga bertindak sebagai kontak atau penghubung utama dengan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

- b. *Article*, artinya pesawat terbang, badan pesawat, mesin pesawat, baling-baling, alat, atau bagian komponen.
- c. *Directly in charge*, yaitu orang yang bertanggung jawab terhadap pekerjaan dari AMO; yang melakukan pemeliharaan, perawatan pencegahan, perubahan, atau fungsi lain yang mempengaruhi kelaikan udara pesawat. Seseorang yang bertindak sebagai *Directly in charge* tidak perlu secara fisik atau secara langsung mengamati dan mengarahkan setiap pekerja terus-menerus di lokasi pekerjaan, tetapi harus ada atau tersedia untuk kepentingan konsultasi jika dibutuhkan petunjuk atau keputusan dari pejabat atau otorisasi yang lebih tinggi.
- d. *Line maintenance*, yaitu perawatan tidak berjadwal sebagai akibat dari kejadian tak terduga; atau pemeriksaan berjadwal seperti *servicing*, atau inspeksi yang tidak memerlukan pelatihan, peralatan, atau fasilitas khusus.

3. Persyaratan Sertifikat dan Spesifikasi Operasi

Setiap orang, perusahaan, atau organisasi yang akan melakukan perawatan pesawat udara maupun komponennya harus memiliki sertifikat AMO, dengan kata lain bahwa mereka harus memiliki persetujuan dari Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, sesuai dengan persyaratan dalam CASR Part 145 ini. Jika seseorang, perusahaan, atau organisasi telah mendapatkan persetujuan dari Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, persetujuan tersebut diberikan dalam bentuk sertifikat. Sertifikat tersebut harus ditempatkan/digantung di tempat yang mudah terlihat oleh umum atau DGCA (Directorate General of Civil Aviation).

4. CASR 145 Subpart B CERTIFICATION

Subpart ini menjelaskan tentang:

- a. Bagaimana dan apa persyaratan pengajuan permohonan untuk mendapatkan persetujuan/sertifikat AMO.
- b. Penerbitan sertifikat AMO.
- c. Masa berlaku dan pembaharuan sertifikat AMO.
- d. Perubahan atau pengalihan kepemilikan sertifikat AMO.
- e. *Rating*.
- f. Batasan *rating*.

Untuk mendapatkan persetujuan atau sertifikat AMO, pemohon harus mengajukan permohonan kepada DGCA menggunakan format yang telah ditentukan oleh DGCA dan dilengkapi dengan:

- a. Manual AMO, untuk disetujui oleh DGCA sesuai dengan CASR 145.207;
- b. *Manual Quality Control* untuk disetujui oleh DGCA sesuai dengan CASR 145.211(c);
- c. Daftar tipe, model, atau jenis sesuai pembuat yang ditentukan di masing-masing artikel yang dimohonkan;
- d. Daftar jenis-jenis perawatan, untuk persetujuan DGCA, yang akan dilakukan oleh AMO berdasarkan kontrak dengan pihak lain sesuai dengan CASR 145.217;
- e. Penjelasan atau deskripsi tentang fasilitas, untuk disetujui (*approval*), termasuk lokasi fisik fasilitas tersebut, sesuai dengan CASR 145.103;
- f. Struktur organisasi AMO, nama dan jenis jabatan;
- g. Program pelatihan untuk disetujui oleh DGCA sesuai dengan CASR 145.163.

5. Penerbitan dan Pembaharuan Sertifikat AMO

- a. Masa berlaku sertifikat atau rating AMO yang berlokasi di dalam wilayah Republik Indonesia adalah sesuai dengan waktu yang tertera di dalam sertifikatnya yang telah ditentukan oleh DGCA tetapi tidak lebih dari satu tahun sejak tanggal diterbitkan, kecuali dibekukan, dicabut, atau dikembalikan sendiri oleh operatornya kepada DGCA.
- b. Masa berlaku sertifikat atau rating AMO yang berlokasi di luar wilayah Republik Indonesia adalah 24 bulan sejak diterbitkan, kecuali dibekukan, dicabut, atau dikembalikan sendiri oleh operatornya kepada DGCA.
- c. Sertifikat AMO yang berlokasi di luar wilayah Republik Indonesia yang akan mengajukan pembaharuan sertifikat wajib melakukan dua hal berikut.
 - 1) Mengajukan permohonan tidak kurang dari 30 hari sebelum habis masa berlaku sertifikat.
 - 2) Mengajukan permohonan pembaruan kepada DGCA.
- d. Pemegang sertifikat AMO yang telah habis masa berlaku, dibekukan, dicabut harus mengembalikan sertifikat tersebut kepada DGCA.

6. Amandemen atau Transfer Sertifikat

- a. Pemegang sertifikat AMO harus mengajukan permohonan perubahan sertifikat kepada DGCA menggunakan format yang telah ditentukan. Perubahan sertifikat diperlukan apabila pemegang sertifikat mengganti lokasi AMO dan ada permintaan untuk menambah atau mengamandemen *rating*.
- b. Apabila pemegang sertifikat AMO menjual atau mengalihkan aset, pemilik baru harus mengajukan permohonan amandemen sertifikat sesuai dengan CASR 145.51.

7. Rating

Rating dalam istilah AMO bisa diartikan sebagai kewenangan yang diberikan oleh DGCA kepada AMO tertentu berdasarkan kemampuan yang dimiliki setelah memenuhi seluruh persyaratan seperti personel, manual, fasilitas, dan lainnya. Berikut ini beberapa jenis *rating* yang diterbitkan berdasarkan ketentuan CASR Part 145:

a. Airframe Ratings

- 1) *Class 1: Composite construction of small aircraft.*
- 2) *Class 2: Composite construction of large aircraft.*
- 3) *Class 3: All-metal construction of small aircraft.*
- 4) *Class 4: All-metal construction of large aircraft.*

b. Powerplant Ratings

- 1) *Class 1: Reciprocating engines of 400 horsepower or less.*
- 2) *Class 2: Reciprocating engines of more than 400 horsepower.*
- 3) *Class 3: Turbine engines.*

c. Propeller Ratings

- 1) *Class 1: Fixed-pitch and ground-adjustable propellers of wood, metal, or composite construction.*
- 2) *Class 2: Other propellers, by make.*

d. Radio Ratings

- 1) *Class 1: Communication equipment.*
- 2) *Class 2: Navigation equipment.*
- 3) *Class 3: Radar equipment.*

e. Instrument Ratings

- 1) *Class 1: Mechanical.*
- 2) *Class 2: Electrical.*
- 3) *Class 3: Gyroscopic.*
- 4) *Class 4: Electronic.*

f. Accessory Ratings

- 1) *Class 1: A mechanical accessory.*
- 2) *Class 2: An electrical accessory.*
- 3) *Class 3: An electronic accessory.*

8. Limited Rating

Limited rating adalah *rating* yang diberikan kepada AMO untuk melakukan perawatan hanya terhadap bagian atau komponen khusus pesawat udara seperti *airframe*, *powerplant*, *propeller*, radio, instrumen, atau aksesori maupun bagian-bagian dari komponen tersebut yang pelaksanaan perawatannya menggunakan peralatan dan keterampilan khusus di luar pekerjaan yang dilaksanakan oleh AMO pada umumnya sesuai *rating*. Pembatasan *rating* tersebut dapat dilakukan secara khusus berdasarkan model pesawat, mesin atau *part* tertentu, atau *part number* yang dibuat oleh pabrik khusus.

DGCA menerbitkan *limited rating* berikut.

- a. *Airframes* berdasarkan pembuat dan model khusus.
- b. *Powerplants* berdasarkan pembuat dan model khusus.
- c. *Propellers* berdasarkan pembuat dan model khusus.
- d. *Instruments* berdasarkan pembuat dan model khusus.
- e. *Radio equipment* berdasarkan pembuat dan model khusus.
- f. *Accessories* berdasarkan pembuat dan model khusus.

- g. *Landing gear components.*
- h. *Floats, by make.*
- i. *Nondestructive inspection, testing, and processing.*
- j. *Emergency equipment.*
- k. *Rotor blades* berdasarkan pembuat dan model khusus.
- l. *Aircraft fabric work.*

K. CASR PART 147 AMTO (Aircraft Maintenance Training Organization)

CASR Part 147 berisi ketentuan tentang AMTO (*Aircraft Maintenance Training Organization*), yaitu suatu lembaga yang berfungsi menyelenggarakan program pelatihan untuk calon teknisi perawatan pesawat udara. Peserta pelatihan akan melaksanakan kegiatan pelatihan yang berlangsung selama 3000 jam dengan berpedoman kepada *safety first and zero accident*. Hal ini diselenggarakan untuk memenuhi kebutuhan sumber daya manusia di bidang industri kedirgantaraan khususnya di MRO (*Maintenance Repair and Overhaul*). Standar kurikulum pembelajaran untuk AMTO mengikuti standar yang telah ditetapkan dari DKUPPU Kementerian Perhubungan.

1. Subpart A

a. 147.1 Applicability

Part ini mengatur persyaratan untuk mengeluarkan sertifikat organisasi pelatihan terkait dengan perawatan pesawat dan aturan operasi untuk pemegang sertifikat tersebut.

b. 147.2 Definitions and Abbreviations

- 1) *Accountable Manager* adalah orang yang ditunjuk oleh AMTO yang bertanggung jawab dan memiliki otoritas atas semua operasi yang dilakukan sesuai ketentuan CASR Part 147, termasuk memastikan bahwa pendaftaran pelatihan mengikuti pelatihan prosedur manual.
- 2) *Approved Noncertificated Instructors (Specialized Instructors)* merupakan individu yang tidak bersertifikat tetapi telah memenuhi syarat AMTO untuk mengajar pelajaran matematika, fisika, dasar listrik, dasar *hydraulics*, menggambar, dan mata pelajaran sejenis lainnya.

- 3) *Certificated Instructors* adalah instruktur yang memegang *DGCA Basic License* dan kategorinya sesuai untuk mata pelajaran AMTO.
- 4) *Curriculum* terdiri dari satu set kursus yang diartikan sebagai trek atau lajur yang harus diikuti seseorang untuk mencapai tujuannya.
- 5) *Instruction Hour* merupakan jam pelajaran yang digunakan oleh AMTO dengan alokasi waktu 50 menit. Waktu instruksional ini periode yang sesuai untuk minimal praktik.
- 6) *Instructional Equipment* merupakan peralatan yang digunakan untuk memberikan instruksi dan peralatan instruksional dalam memenuhi standar pelayanan.
- 7) *Shop* merupakan salah satu fasilitas yang harus ada untuk mendukung pembelajaran praktik dengan memberikan instruksi berbasis proyek serta memiliki situasi kondisi lingkungan yang sesuai dengan standar fasilitas di penerbangan.
- 8) *Shop Equipment* adalah tempat diletakkannya suatu mesin dan peralatan pendukung, *air compressor, work stands, racks, benches, fabricating devices, sheet metal equipment, dan battery chargers.*

c. 147.5 Rating

Berikut *output* yang dikeluarkan oleh AMTO dari masing-masing jenis pelatihannya, antara lain:

- 1) *Basic Aircraft Maintenance Training*
 - a) A 1.3 : *Airframe, Airplane (A1) and Piston Engine (A3)*
 - b) A1.4 : *Airframe, Airplane (A 1) and Turbine Engine (A4)*
 - c) A2.3 : *Airframe, Helicopter (A2) and Piston Engine (A3)*
 - d) A2.4 : *Airframe, Helicopter (A2) and Turbine Engine (A4)*
 - e) C : *IERA (Instrument, Electrical, Radio)*
- 2) *Aircraft Type Training*
 - a) A : *Airframes and Engines*
 - b) C : *Avionic*
- 3) *Component Type Training*

2. SubPart B

d. 147.17 Management Personnel Requirements

- 1) Setiap pemohon sertifikat di bawah bagian ini harus menunjukkan bahwa ia memiliki personel manajemen yang berkualifikasi memadai untuk melaksanakan kegiatan operasional di AMTO. Personel tersebut harus dipekerjakan secara penuh waktu untuk posisi *accountable manager* (yang mungkin juga menjabat *head of training*), *head of training*, *quality manager*, dan *instructional manager*.
- 2) Judul posisi yang dipersyaratkan berdasarkan paragraf (a) bagian ini atau judul dan jumlah posisi yang setara dari bagian ini ditetapkan dalam spesifikasi operasi organisasi pelatihan.
- 3) Ketika sebuah organisasi pelatihan bermaksud untuk mengubah seorang personel manajemen, proposal harus diajukan ke DJBC selambat-lambatnya 30 hari sebelum tanggal persetujuan dimaksud oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Organisasi pelatihan hanya akan mengusulkan evaluasi kepada Direktorat Jenderal Perhubungan Udara setelah mendapatkan seorang kandidat yang memenuhi persyaratan untuk posisi ini.

e. 147.21 Instructor Requirements

Pemohon untuk organisasi pelatihan perawatan pesawat udara harus:

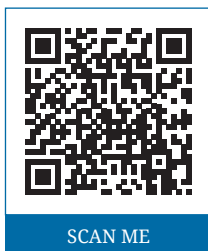
- 1) Menyediakan instruktur yang memiliki sertifikat *Basic License* dengan kategori yang sesuai ketentuan *Part 65*, memiliki pengalaman luas dalam perawatan pesawat, dan terlatih dalam teknik instruksional yang diperlukan untuk memberi instruksi yang tepat kepada siswa dan mengawasi proses pelatihannya.
- 2) Menyediakan instruktur dalam jumlah yang sesuai, setidaknya satu instruktur untuk setiap dua puluh lima siswa di setiap kelas.
- 3) Setiap instruktur praktikum atau penilai harus memiliki lisensi, dengan kategori yang sesuai *CASR Part 65* dan memiliki pengalaman minimal tiga tahun di pemeliharaan pesawat terbang.
 - a) Memastikan bahwa instruktur khusus yang tidak memiliki pengalaman dalam perawatan pesawat tidak berwenang untuk memberikan instruksi di pemeliharaan pesawat terbang.

- b) Memiliki instruktur yang ditugaskan untuk pelatihan dengan tipe pesawat terbang tertentu. Instruktur harus memiliki AMEL dengan peringkat pesawat yang sesuai CASR Part 65.
- c) Instruktur atau penilai praktik yang ditugaskan untuk organisasi pelatihan dengan jenis pesawat tertentu harus memiliki AMEL terbaru (valid) dengan *rating* pesawat yang sesuai ketentuan CASR Part 65 minimal tiga tahun.



Aktivitas Pembelajaran

1. Untuk lebih memahami pelajaran pada bab ini, buatlah kelompok untuk mencari dan menonton video di youtube atau sumber lain tentang materi International Civil Aviation Organization (ICAO). Setelah itu, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan tepat!
 - a. Apa peran ICAO dalam bidang penerbangan? Apakah pada saat ini keberadaan ICAO masih dibutuhkan atau dapat digantikan organisasi yang lain? Jelaskan pendapatmu!
 - b. Kebijakan ICAO tertuang dalam 19 Annex. Apa yang dimaksud Annex? Apakah kesembilan belas Annex tersebut wajib diikuti atau dapat diabaikan? Uraikan jawabanmu dengan jelas dan tepat!
 - c. Jelaskan hubungan antara ICAO dengan adanya CASR!
2. Carilah literasi berupa video atau catatan tertulis tentang *Certificate of Airworthiness*. Setelah mempelajari literasi tersebut, jawablah soal-soal berikut!
 - a. Apa yang dimaksud dengan *Certificate of Airworthiness*? Apa manfaat sertifikat ini? Jelaskan dengan tepat!
 - b. Buatlah contoh pengisian form *Certificate of Airworthiness* untuk pesawat yang ada di sekolahmu!
3. Tontonlah video tentang CASR Part 65 dengan memindai QR-code berikut!



SCAN ME

Setelah menonton videonya, tuliskan apa yang kalian pahami tentang fungsi kepemilikan *Basic License* dari A1 dan A4 serta Basic License dari C1 dan C3!



Rangkuman

1. Konvensi Chicago 1944 dijadikan acuan dalam pembuatan hukum nasional bagi negara-negara anggota International Civil Aviation Organization (ICAO). ICAO merupakan organisasi internasional yang berperan dalam terbentuknya aturan-aturan penerbangan sipil.
2. CASR *Part 21* mengatur tentang persyaratan prosedural untuk menerbitkan dan mengubah persetujuan desain, persetujuan produksi, sertifikat kelaikan udara, dan persetujuan kelaikan udara. Persetujuan kelaikan udara adalah dokumen yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara untuk suatu pesawat udara, mesin pesawat, *propeller*, yang disetujui secara desain dan dalam kondisi pengoperasian yang aman.
3. CASR *Part 39* berisi tentang perintah kelaikudaraan yang wajib dimiliki pesawat udara sebagai syarat penerbitan sertifikat kelaikudaraan. Sertifikasi kelaikudaraan meliputi unit pesawat udaranya, mesin pesawat udara, *instrument*, *propeller* dan termasuk *tools equipment*.
4. CASR *Part 43* berisikan tentang *maintenance, preventive maintenance, rebuilding, and alteration*.
5. CASR *Part 45* memiliki persyaratan untuk:
 - a) Identifikasi pesawat udara, mesin pesawat udara, dan *propeller* yang diproduksi berdasarkan persyaratan sertifikat produksi (*production certificate*).
 - b) Identifikasi suku cadang pengganti dan modifikasi tertentu yang diproduksi untuk pemasangan *type certificated products*.
 - c) Tanda kebangsaan dan tanda registrasi pesawat udara Indonesia yang terdaftar.
6. CASR *Part 47* membahas tentang persyaratan permohonan pendaftaran pesawat udara.
7. CASR *Part 65* menjelaskan tentang prosedur mendapatkan lisensi untuk teknisi perawatan pesawat udara.

8. CASR *Part* 145 menjelaskan tentang bagaimana cara mendapatkan persetujuan atau sertifikat AMO (*Approved Maintenance Organizations*).
9. CASR *Part* 147 berisi ketentuan tentang AMTO (*Aircraft Maintenance Training Organization*), yaitu suatu lembaga yang berfungsi menyelenggarakan program pelatihan untuk calon teknisi perawatan pesawat udara.



Tes Formatif

1. What is the contain of Annex 1?
 - a. Rules of the air
 - b. Personal licensing
 - c. Operation aircraft
 - d. Unit of measurement
2. There are three primary regulations that governs the airworthiness of the aircraft. What is the contain of 14 CFR part 21?
 - a. Maintenance, preventive maintenance, rebuilding, and alteration
 - b. Aircraft, engine, and propeller
 - c. General operating and flight rules
 - d. Certification procedures for products and parts
3. What the general purpose for FAR 39?
 - a. Repair station standards
 - b. Airlines certification
 - c. Airworthiness directive
 - d. Aircraft registration
4. These are subpart of 14CFR part 65, except....
 - a. Aircraft Dispatcher
 - b. Mechanics
 - c. Repairmen
 - d. Engineer

5. Which part number, which is discuss about Repair Station?
 - a. Part 145
 - b. Part 128
 - c. Part 135
 - d. Part 88
6. Design approval for a specific make and model of aircraft is
 - a. Type certificate
 - b. Production certificate
 - c. Airworthiness certificate
 - d. All incorrect
7. Annex 8 is talk about?
 - a. Airworthines of aircraft
 - b. Rules of the air
 - c. SAR
 - d. Security
8. Aircraft certificated under part 23 represent the greatest portion of what the industry refers to as
 - a. general aviation
 - b. aviation
 - c. airworthy
 - d. airworthiness standard
9. Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration is subject of which part?
 - a. 23
 - b. 43
 - c. 65
 - d. 91



10. Definition for airworthy is

- a. the aircraft conforms for flight and the aircraft have certificate from ICAO
- b. the aircraft conforms to its type design and is in a condition for safe operation
- c. the aircraft conforms to its type design and is in a condition for unsafe operation
- d. A, B, and C is wrong



Refleksi

Berilah tanda centang (✓) di materi yang telah kalian pahami!

| | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Memahami ICAO | <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 47</i> |
| <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 21</i> | <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 65</i> |
| <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 39</i> | <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 145</i> |
| <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 43</i> | <input type="checkbox"/> Memahami CASR <i>Part 147</i> |



Pengayaan

Untuk mengetahui, memahami, dan menambah wawasan tentang ruang lingkup Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, silakan jelajahi internet dengan memindai *QR-code* berikut ini.



SCAN ME

Daftar Pustaka

Sumber Buku

- Federal Aviation Administration. 2018. *Aircraft Maintenance Technician Handbook - Airframe, Volume 1*. Washington: US Department of Transportation.
- Federal Aviation Administration. 2018. *Aircraft Maintenance Technician Handbook - General*. Washington: US Department of Transportation.
- Forenz, Thomas. 2016. *Materials and Hardware*. Cologne: European Union Aviation Safety Agency.
- Forenz, Thomas. 2018. *Basic Aerodynamic*. Cologne: European Union Aviation Safety Agency.
- Grant, David B., Alexander Trautrim, dan Chee Yew Wong. 2017. *Sustainable Logistics and Supply Chain Management (2nd Edition)*. London: Kogan Page Limited.
- Johana, Ohan dan M. Suratman. 2000. *Menggambar Teknik Mesin dengan Standar ISO*. Bandung: Pustaka Grafika.
- Rejeki, Sri. 2016. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Jakarta: Pusdik SDM Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Sato, G. Takeshi dan N.S. Hartanto. 2017. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sumber Internet

- <http://www.actechbooks.com>
- <http://www.aviationnews-online.com>
- <http://www.batamaerotechnic.com>
- <http://www.easa.europa.eu>
- <http://www.faa.gov>
- <http://www.fltechnics.com>
- <http://www.gmf-aeroasia.co.id>
- <http://www.hubud.dephub.go.id>
- <http://www.indonesian-aerospace.com>
- <http://www.ptmmf.co.id>
- <http://www.rolls-royce.com>

Sumber Gambar

Gambar 1.1 Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.2 Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.3A Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.3 B military.wikireading.ru (2022) https://storage.yandexcloud.net/wr4img/229203_8_pic_76.jpg. Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 pukul 12.40 WIB

Gambar 1.4 A <http://aviadejavu.ru> (2022) <http://aviadejavu.ru/Images6/AN/AN80-4/12-2.jpg>. Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 pukul 13.05 WIB

Gambar 1.4 B [planespotters.net/Arjun Sarup](https://www.planespotters.net/Arjun%20Sarup) (2018) <https://www.planespotters.net/photo/891404/01-indonesian-air-force-pesawat-nu-200-sikumbang>. Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 pukul 13.15 WIB.

Gambar 1.5 [abpic.co.uk/George Trussell](https://abpic.co.uk/George%20Trussell) (2006) <https://abpic.co.uk/pictures/model/PZL-Okecie%20PZL-104%20Gelatik>. Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.17 WIB.

Gambar 1.6 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.7 A Sumber: Airframe and Powerplant Mechanics Airframe Handbook/FAA (1972)

Gambar 1.7 B [wikipedia.org/Kolossos](https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Fuselage-747.jpg#/media/Berkas:Fuselage-747.jpg) (2006) <https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Fuselage-747.jpg#/media/Berkas:Fuselage-747.jpg>. Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.25 WIB.

Gambar 1.8 A [indonesian-aerospace.com/PT Dirgantara Indonesia](https://www.indonesian-aerospace.com/PT%20Dirgantara%20Indonesia) (2020). Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.28 WIB.

Gambar 1.8 B Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.9 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.10 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2012)

Gambar 1.11 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).

Gambar 1.12 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–General/FAA (2018)

Gambar 1.13 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–General/FAA(2018)

- Gambar 1.14 A** freepik.com/macrovector (2019) https://www.freepik.com/free-vector/airplane-realistic-icons-set_3796055.htm#query=AIRPLANE&position=5&from_view=author. Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 pukul 13.33 WIB.
- Gambar 1.14 B** [wikimedia.org/Steven Lek \(2007\) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boeing_737_wing.JPG#/media/File:Boeing_737_wing.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boeing_737_wing.JPG#/media/File:Boeing_737_wing.JPG). Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.35 WIB.
- Gambar 1.15 A** [www.airliners.net/Phil Vabre \(2010\) https://en.wikipedia.org/wiki/File:American_Champion_7ECA_Citabria_Aurora_Kyneton_Vabre.jpg#/media/File:American_Champion_7ECA_Citabria_Aurora_Kyneton_Vabre.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:American_Champion_7ECA_Citabria_Aurora_Kyneton_Vabre.jpg#/media/File:American_Champion_7ECA_Citabria_Aurora_Kyneton_Vabre.jpg). Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.38 WIB.
- Gambar 1.15 B** [wikimedia.org/Alan Wilson \(2017\) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cessna_F.177RG_Cardinal_RG_%E2%80%98BAIS%E2%80%99_\(45850483461\).jpg#/media/File:Cessna_F.177RG_Cardinal_RG_%E2%80%98BAIS%E2%80%99_\(45850483461\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cessna_F.177RG_Cardinal_RG_%E2%80%98BAIS%E2%80%99_(45850483461).jpg#/media/File:Cessna_F.177RG_Cardinal_RG_%E2%80%98BAIS%E2%80%99_(45850483461).jpg). Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.40 WIB.
- Gambar 1.16** [flickr.com/Glenn Schreurs \(2015\) https://www.flickr.com/photos/unionscum/16947502095/](https://www.flickr.com/photos/unionscum/16947502095/). Diunduh tanggal 12 Oktober 2022 Pukul 13.45 WIB.
- Gambar 1.17** Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)
- Gambar 1.18 A** Sumber: [flickr.com/Alex Layzell \(2017\) https://www.flickr.com/photos/alexlayzell/35896887470/](https://www.flickr.com/photos/alexlayzell/35896887470/). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 16.47 WIB.
- Gambar 1.18 B** Sumber: [wikipedia.org/Ahunt \(2005\) https://en.wikipedia.org/wiki/Grumman_American_AA-1#/media/File:AmericanAviationAA-1YankeeClipper07.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Grumman_American_AA-1#/media/File:AmericanAviationAA-1YankeeClipper07.jpg). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 23.54 WIB.
- Gambar 1.18 C** Sumber: [flickr.com/Rob Schleiffert \(2016\) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Mirage_2000D_%28cropped%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Mirage_2000D_%28cropped%29.jpg). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 13.17 WIB.
- Gambar 1.18 D** [flickr.com/Bill Abbott \(2016\) https://www.flickr.com/photos/wbaiv/27294780542](https://www.flickr.com/photos/wbaiv/27294780542) Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 17.48 WIB.
- Gambar 1.18 E** [www.dfrc.nasa.gov/Larry Sammons \(1990\) E https://www.dfrc.nasa.gov/Gallery/Photo/X-29/Large/EC90-039-4.jpg](https://www.dfrc.nasa.gov/Larry_Sammons). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 16.23 WIB.
- Gambar 1.18 F** [hartzellprop.com/GettyImages \(2022\) https://hartzellprop.com/wp-content/uploads/GettyImages-879173948-1200x800.jpg](https://hartzellprop.com/wp-content/uploads/GettyImages-879173948-1200x800.jpg). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 16.28 WIB.
- Gambar 1.18 G** [commons.wikimedia.org/ Ltjg. Stephen P. Davis \(1993\) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:F-14B_VF-143_Right_Rear_Overhead_View_\(Adjusted_and_Cropped\).JPEG#/media/File:F-14B_VF-143_Right_Rear_Overhead_View_\(Adjusted_and_Cropped\).JPEG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:F-14B_VF-143_Right_Rear_Overhead_View_(Adjusted_and_Cropped).JPEG#/media/File:F-14B_VF-143_Right_Rear_Overhead_View_(Adjusted_and_Cropped).JPEG). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.19 WIB.

- Gambar 1.19 A** hendersonkyairport.com (2022) <https://www.hendersonkyairport.com/wp-content/uploads/2020/01/cirrusN752c-1536x1152.jpg>. Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.28 WIB.
- Gambar 1.19 B** wikipedia.org/ Adrian Pingstone (2019) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dihedral_on_a_TUI_Boeing_737-800_\(G-TAWJ\)_taxying_for_take_off_at_Bristol_Airport,_England_14May2019.jpg#/media/File:Dihedral_on_a_TUI_Boeing_737-800_\(G-TAWJ\)_taxying_for_take_off_at_Bristol_Airport,_England_14May2019.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dihedral_on_a_TUI_Boeing_737-800_(G-TAWJ)_taxying_for_take_off_at_Bristol_Airport,_England_14May2019.jpg#/media/File:Dihedral_on_a_TUI_Boeing_737-800_(G-TAWJ)_taxying_for_take_off_at_Bristol_Airport,_England_14May2019.jpg). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.31 WIB.
- Gambar 1.19 C** wikipedia.org/Arpingstone (2005) https://en.wikipedia.org/wiki/Glasair_GlaStar#/media/File:Stoddard-hamilton.glastar.g-gery.arp.jpg. Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.34 WIB.
- Gambar 1.19 D** wikipedia.org/Eddie Maloney (2008) [https://en.wikipedia.org/wiki/IAI_Westwind#/media/File:IAI_Westwind_\(2323424886\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/IAI_Westwind#/media/File:IAI_Westwind_(2323424886).jpg). Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.37 WIB.
- Gambar 1.19 E** wikipedia.org/Christoph Zahn (2005) https://id.wikipedia.org/wiki/Sayap_teluk#/media/Berkas:DFS_Habicht_E_1.jpg. Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.38 WIB.
- Gambar 1.19 F** Sumber: flickr.com/Gerry Metzler (2012) <https://www.flickr.com/photos/flyguy71/7427977930/sizes/l/in/photostream/>. Diunduh tanggal 2 Oktober 2022 Pukul 15.41 WIB.
- Gambar 1.20** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.21** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.22** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.23 A, B** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.24 A, B, C** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.25** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.26 A, B, C, D, E, F** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012) .
- Gambar 1.27** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012).
- Gambar 1.28 A** zenith.aero/David Farlow (2012) <https://www.zenith.aero/photo/drilling-and-clecoing-right-wing-skin-to-main-spar?context=user>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 6.53 WIB.

Gambar 1.28 B rjdauhnaircraft.com (2015) <http://www.rjdauhnaircraft.com/images/Wing001Large.jpg>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 6.51 WIB.

Gambar 2.1 Sumber: Maruli Tua/Asep Gunawan 29 (2022).

Gambar 2.2 wikipedia.org/Juergen Lehle (2007) https://id.wikipedia.org/wiki/Cessna_Citation_Mustang#/media/Berkas:Cessna_Citation_Mustang_N416CM.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 0.03 WIB.

Gambar 2.3 Sumber: Airplane Flying Handbook/FAA (2021).

Gambar 2.4 ANTARA/M Agung Rajasa (2011) <https://v-images2.antarafoto.com/rakit-pesawat-jabiru-j-430-lt7hn3-prv.jpg>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 0.48 WIB.

Gambar 2.5 wikipedia.org/Nimbus227 (2011) https://en.wikipedia.org/wiki/ADC_Cirrus#/media/File:ADCCirrusII.JPG. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 0.58 WIB.

Gambar 2.6 Piston Tipe V Howstuffworks.com (2010) https://www.insinyoer.com/wp-content/uploads/2015/05/Gambar-1-Konstruksi-Mesin-4-tak-www.howstuffworks.com_.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 7.18 WIB.

Gambar 2.7 Konfigurasi Piston V wikipedia.org/Azure.km (2011) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/L_V_VR6_engines.svg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 6.54 WIB.

Gambar 2.8 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 2.9 Sumber: Maruli Tua, Asep Gunawan (2022).

Gambar 2.10 A Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016)

Gambar 2.10 B Sumber: wikipedia.org/UtzOnBike (2005) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opposite_piston_engine.gif#/media/File:Opposite_piston_engine.gif. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 8.40 WIB.

Gambar 2.11 Sumber: Airplane Flying Handbook/FAA (2021).

Gambar 2.12 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 2.13 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 2.14 A Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 2.14 B Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.15 Sumber: auto.howstuffworks.com (2012).

Gambar 2.16 Sumber: auto.howstuffworks.com (2012).

Gambar 2.17 victor-aviation.com (2022) https://www.victor-aviation.com/images/crankcase_940_lrg.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 19.32 WIB.

Gambar 2.18 A flickr.com/Abilene Machine (2012) <https://www.flickr.com/photos/abilenemachine/8469163528>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 19.47 WIB.

Gambar 2.18 B Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Gambar 2.19 A multisparepart.com (2018) <https://multisparepart.com/wp-content/uploads/camshaft.jpg>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 19.49 WIB.

Gambar 2.20 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.21 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.22 Sumber: module 16 EASA (2015).

Gambar 2.23 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

Gambar 2.24 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.25 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.26 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.27 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.29 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.30 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.31 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.32 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.33 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 2.34 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant, Volume 1/FAA (2018)

- Gambar 2.35** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook– Powerplant, Volume 1/FAA (2018)
- Gambar 2.37 A** aerospacenotes.com (2021) https://aerospacenotes.com/wp-content/uploads/2021/01/classification_of_combustion_chamber-min.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 21.12 WIB.
- Gambar 2.37 B** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook– Powerplant, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 2.38 A** aerospacenotes.com (2021) https://aerospacenotes.com/wp-content/uploads/2021/01/classification_of_combustion_chamber-min.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 21.12 WIB.
- Gambar 2.38 B** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook– Powerplant, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 2.39 A** aerospacenotes.com (2021) https://aerospacenotes.com/wp-content/uploads/2021/01/classification_of_combustion_chamber-min.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 21.12 WIB.
- Gambar 2.39 B** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook– Powerplant, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 2.40** Sumber: Avotek information resource (2008)
- Gambar 2.41** Sumber: Avotek information resource (2008)
- Gambar 2.42** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook– Powerplant, Volume 1 (2018).
- Gambar 3.1** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 3.2** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.3** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.4** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.5** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.6** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.7** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2012)
- Gambar 3.8 A** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (2016).
- Gambar 3.8 B** Sumber: Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge (2016).
- Gambar 3.9 A** learntoflyblog.com (2014) <http://learntoflyblog.com/wp-content/uploads/2014/09/TP-P-01-08.png>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 22.07 WIB.

- Gambar 3.9 B** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge (2016).
- Gambar 3.10 A** learntoflyblog.com (2014) <http://learntoflyblog.com/wp-content/uploads/2014/09/TP-P-01-08.png>. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 22.07 WIB.
- Gambar 3.10 B** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.11** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.12** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.13** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.14 A** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2013).
- Gambar 3.14 B** Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1 (2013) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Spoilers-Boeing737-700_LV-CWL-AerolineasArgentinas.jpg. Diunduh tanggal 6 Oktober 2022 Pukul 22.12 WIB.
- Gambar 3.15 A** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.15 B** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.16** Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).
- Gambar 3.17 A** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 3.17 B** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 3.18** wikipedia.org/Jg4817 (2011) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Qantas_Boeing_737-800_spoiler_deployed_for_descent.jpg. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 1.22 WIB.
- Gambar 3.19** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 3.20** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 3.21 A** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 3.21 B** ultralightdesign.wordpress.com (2017) <https://ultralightdesign.files.wordpress.com/2017/11/vtail-fig4-rudder.png>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 1.25 WIB.

Gambar 3.21 C [ultralightdesign.wordpress.com \(2017\) https://ultralightdesign.files.wordpress.com/2017/11/vtail-fig3-elevator.png](https://ultralightdesign.files.wordpress.com/2017/11/vtail-fig3-elevator.png). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 1.25 WIB.

Gambar 3.22 A [flickr.com/chrisjunker \(2013\) https://www.flickr.com/photos/chrisjunker/10284346995/in/photolist-gEMY4v-9ZoDzi-DkyjvD-uwpuVB-NnNBcF-uASUCN-GjMMb3-BvzL6Q-P1HouC-2bvLNnp-i5v8x2-RGV1Vp-uhRvkN-jHGUY8-Ge9n49-2e26UwR-ZdYCAv-Jj6o3q-EfdwVN-ehdE5r-M6P2om-HAinsi-P9QrZj-pxDpsa-8t5YY8-Hh5AoS-xZkPMm-ne2k1P-27vKki1-H7QxkQ-Bcu4jr-JxFtdH-KfLCVE-21sjr9X-28e9CbZ-zTajTB-GPyGxH-A5daU7-ZFTcKE-JZ8dtw-21KrfEL-PdqNpi-QfNqZg-hdNnKs-FK7C2j-zWRQZa-y39p1j-HuVUoE-81okax-MfxHP1](https://www.flickr.com/photos/chrisjunker/10284346995/in/photolist-gEMY4v-9ZoDzi-DkyjvD-uwpuVB-NnNBcF-uASUCN-GjMMb3-BvzL6Q-P1HouC-2bvLNnp-i5v8x2-RGV1Vp-uhRvkN-jHGUY8-Ge9n49-2e26UwR-ZdYCAv-Jj6o3q-EfdwVN-ehdE5r-M6P2om-HAinsi-P9QrZj-pxDpsa-8t5YY8-Hh5AoS-xZkPMm-ne2k1P-27vKki1-H7QxkQ-Bcu4jr-JxFtdH-KfLCVE-21sjr9X-28e9CbZ-zTajTB-GPyGxH-A5daU7-ZFTcKE-JZ8dtw-21KrfEL-PdqNpi-QfNqZg-hdNnKs-FK7C2j-zWRQZa-y39p1j-HuVUoE-81okax-MfxHP1). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 1.28 WIB.

Gambar 3.22 B Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 3.23 A Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).

Gambar 3.23 B Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 3.25 Sistem kendali autopilot Sumber: airbus.com (2022).

Gambar 3.27 [commons.wikimedia.org/MCVAGrupo11 \(2018\) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/FBW.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/FBW.png). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 2.10 WIB.

Gambar 3.30 Sumber: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge/FAA (2016).

Gambar 4.1 P Sumber: [www.collinsaerospace.com \(2022\) https://www.collinsaerospace.com/-/media/CA/Newsroom/Files/Collins-Aerospace_Commercial-Aircraft-Content.pdf?la=en&hash=037CFB648035CB78685D27BFC6487F1384E15F15](https://www.collinsaerospace.com/-/media/CA/Newsroom/Files/Collins-Aerospace_Commercial-Aircraft-Content.pdf?la=en&hash=037CFB648035CB78685D27BFC6487F1384E15F15). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 6.08 WIB.

Gambar 4.2 Sumber: Pilot Handbook of Aeronautical Knowledge (2016).

Gambar 4.2 [wikipedia.org/Goran tek-en \(2014\) https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/GarudaIndonesia865EN.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/GarudaIndonesia865EN.svg). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 6.12 WIB.

Gambar 4.3 [Airbus.com \(2019\) https://mediaassets.airbus.com/permalinks/517990/win/airspace-cabin-vision-2030.jpg](https://mediaassets.airbus.com/permalinks/517990/win/airspace-cabin-vision-2030.jpg). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 6.31 WIB.

Gambar 4.12 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).

Gambar 4.14 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).

Gambar 4.15 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).

- Gambar 4.16** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.17** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.18** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.20** hrd-aerosystems.com (2022) <https://www.hrd-aerosystems.com/wp-content/uploads/2021/02/cargo-fire-bottles-scaled.jpg>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 13.05 WIB.
- Gambar 4.21** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.22** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.23** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.24** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.25** meggitt.com (2022) https://www.meggitt.com/wp-content/uploads/2018/07/shutterstock_626787239.jpg. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 11.07 WIB.
- Gambar 4.26** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.27** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.28** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.29** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.30** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.31** Shutterstock.com/Jaromir Chalabala (2022) <https://i1.wp.com/www.naa.edu/wp-content/uploads/2021/11/preparations-before-flight-refueling-of-airplane-2021-08-30-06-33-15-utc-scaled.jpg?strip=all>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 7.02 WIB.
- Gambar 4.32** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.33** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).

- Gambar 4.34** [webuildplanes.com \(2020\) https://webuildplanes.com/neville/p/2436/fuel-bay-padding-aileron-bellcrank-and-pulleys-pitot-mount](https://webuildplanes.com/neville/p/2436/fuel-bay-padding-aileron-bellcrank-and-pulleys-pitot-mount). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 7.07 WIB.
- Gambar 4.35** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.36** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.37** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.38** [wikipedia.org/Lahiru K https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/FDP_A340.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/FDP_A340.JPG). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 7.08 WIB.
- Gambar 4.39** [foramehelp.blogspot.com \(2014\) http://1.bp.blogspot.com/O-xgH_VskU/U3j_OimggcI/AAAAAAAAAKQ/gL01DFstPFM/s1600/planeoils2.jpg](http://1.bp.blogspot.com/O-xgH_VskU/U3j_OimggcI/AAAAAAAAAKQ/gL01DFstPFM/s1600/planeoils2.jpg). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.23 WIB.
- Gambar 4.40** [skygeek.com \(2022\) https://cdn11.bigcommerce.com/s-jifykode7m/images/stencil/1280x1280/products/16613/116874/SGP122510_1_main_34787.1617271891.jpg?c=1](https://cdn11.bigcommerce.com/s-jifykode7m/images/stencil/1280x1280/products/16613/116874/SGP122510_1_main_34787.1617271891.jpg?c=1). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.25 WIB.
- Gambar 4.41** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.42** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.43** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.44** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.45** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.46** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.47** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.48** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.49** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.50** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).

- Gambar 4.51** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.52 A** wikipedia.org/Ahunt (2006) <https://pl.wikipedia.org/wiki/3Xtrim#/media/Plik:3Xtrim3X55TrainerC-IFUF66.jpg>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 11.14 WIB.
- Gambar 4.52 B** wikipedia.org/Arpingstone (2005) https://id.wikipedia.org/wiki/Roda_pendaratan_tricycle#/media/Berkas:Mooney.m20j.g-muni.arp.jpg. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 11.16 WIB.
- Gambar 4.53 A** Sumber: wikipedia.org/Ahunt (2006) https://id.wikipedia.org/wiki/Roda_pendaratan_konvensional#/media/Berkas:Cessna150taildraggerC-GOCB02.jpg. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 11.18 WIB.
- Gambar 4.53 B** wikipedia.org/Alan Radecki (2007) <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Ntps-c47-N834TP-071112-01cr-16.jpg#/media/File:Ntps-c47-N834TP-071112-01cr-16.jpg>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 11.19 WIB.
- Gambar 4.54** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.55** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.56** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.57** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.58** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.59** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.60** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.61** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.62** [smartcockpit.com/Bombardier Challenger 300, Lighting \(2004\) Training Guide \(2004\) https://www.smartcockpit.com/docs/Lighting.pdf](https://www.smartcockpit.com/Bombardier%20Challenger%20300,%20Lighting%20Training%20Guide%20(2004).pdf). Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.12 WIB.
- Gambar 4.63** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.64** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).

- Gambar 4.65** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 4.66** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 4.67** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 4.68** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 1/FAA (2018).
- Gambar 4.69** smartcockpit.com <https://www.smartcockpit.com/docs/Lighting.pdf>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 8.17 WIB.
- Gambar 4.70** airbus.com (2022) https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcpta136/files/styles/airbus_1440x1440/public/2021-10/A350_CBA_Night_v01.jpg.webp?itok=-TyBF7C5. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 8.05 WIB.
- Gambar 4.71** smartcockpit.com/Bombardier Challenger 300, Lighting (2004) Training Guide (2004) <https://www.smartcockpit.com/docs/Lighting.pdf>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.12 WIB.
- Gambar 4.72** smartcockpit.com/Bombardier Challenger 300, Lighting (2004) Training Guide (2004) <https://www.smartcockpit.com/docs/Lighting.pdf>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.12 WIB.
- Gambar 4.73** smartcockpit.com/Bombardier Challenger 300, Lighting (2004) Training Guide (2004) <https://www.smartcockpit.com/docs/Lighting.pdf>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.12 WIB.
- Gambar 4.75** smartcockpit.com/Bombardier Challenger 300, Lighting (2004) Training Guide (2004) <https://www.smartcockpit.com/docs/Lighting.pdf>. Diunduh tanggal 7 Oktober 2022 Pukul 10.12 WIB.
- Gambar 4.76** Sumber: Airframe & Powerplant-MECHANICS AIRFRAME HANDBOOK/FAA (1972)
- Gambar 4.77** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.78** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.79** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.80** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.81** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).
- Gambar 4.82** Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe, Volume 2/FAA (2018).

Gambar 4.83 Sumber: Aviation Maintenance Technician Handbook– Airframe, Volume 2/FAA (2018).

Gambar 5.3 wikipedia.org/USA FAA (2015) https://en.wikipedia.org/wiki/Type_certificate#/media/File:FAA_TC_sample.jpg. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 0.05 WIB.

Gambar 5.4 faa.gov (2002) <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/8120.2C.pdf>. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 6.52 WIB.

Gambar 5.5 faa.gov (2016) https://assets.website-files.com/5ebd6215f527daa89a85bcb2/5ebd9cdda05aaac8db2baac2_943JS%20AWC.pdf. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 6.57 WIB.

Gambar 5.6 yumpu.com (2015) <https://www.yumpu.com/en/document/read/38709154/airworthiness-directive>. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 7.23 WIB.

Gambar 5.8 jdih.dephub.go.id (2018) https://sipandu.dephub.go.id/assets/file/c47792e93503540a60f54b91b9467481_C.%20DGCA%20FORM%2047-13%20Aug%2018%20PERPANJANGAN%20DAN%20PERGANTIAN%20C%20of%20R.pdf. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 7.23 WIB.

Gambar 5.9 jdih.dephub.go.id (2018) https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/pEI/2018/KP_324_TAHUN_2018.pdf. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 7.37 WIB.

Gambar 5.10 jdih.dephub.go.id (2018) https://jdih.dephub.go.id/assets/uudocs/pEI/2018/KP_324_TAHUN_2018.pdf. Diunduh tanggal 10 November 2022 Pukul 7.37 WIB.

Glosarium

aircraft: pesawat udara

airframe: rangka pesawat udara

aviation: penerbangan

brinelling: kerusakan akibat tekanan permukaan benda lain dengan beban yang berat.

burnishing: goresan pada permukaan akibat gesekan permukaan benda yang keras.

burr: kerusakan kecil akibat gerakan benda di bagian ujung lubang.

chattering: kerusakan permukaan metal/komponen diakibatkan oleh getaran.

control surfaces: bidang-bidang kendali/kemudi

corrosion: kerusakan akibat karat

crack: kerusakan akibat retak

cut: hilangnya sebagian metal akibat potongan benda tajam.

dent: lekukan akibat beradu dengan benda lain.

erosion: pengikisan metal akibat aksi mekanik atau objek lainnya.

fuselage: badan pesawat udara

galling: kerusakan permukaan metal/komponen akibat gesekan dua permukaan yang bergerak.

gouge: kerusakan permukaan metal akibat beradu dengan material asing yang bertekanan berat.

inclusion: adanya material asing dalam suatu bagian material komponen akibat pengolahan/pembentukan selama di pabrik pembuat.

lapatch repair: perbaikan dengan cara ditambal

maintenance: perawatan

mechanical linkage: Rangkaian mekanikal

nick: sobekan lokal pada suatu sisi komponen.

pitching: gerakan angguk/atas-bawah

pitting: meruncingnya permukaan metal.

powerplant: tenaga penggerak

scratch: goresan terhadap permukaan metal akibat cahaya atau bersinggungan dengan benda asing.

score: goresan yang lebih dalam dari scratch terhadap permukaan metal akibat bersinggungan dengan benda lain yang bertekanan.

splice repair: perbaikan dengan cara disisipkan komponen penguat

stabilizer: bidang kendali pesawat udara yang bekerja mengontrol stabilitas arah.

yawing: gerakan arah kiri-kanan

Indeks

A

aileron 13, 81, 84
aircraft 10-11, 36-37, 75, 78, 102, 162, 187, 200, 206-208, 215-216, 220-221
airframe 3-5, 8-12, 17, 22-26, 76, 80, 85, 87-89, 111-116, 120-125, 127-128, 131, 133, 136, 143, 146-150, 155-157, 160, 162, 165-167, 174-179, 207, 213, 216
angle 84
aviation 3-5, 8, 10-14, 17, 22-26, 48, 50, 52-56, 58, 61-62, 67, 76, 80, 85, 87-89, 111-116, 120-125, 127-128, 131, 133, 136, 143, 146-150, 155-157, 160, 162, 165-167, 175-179, 187-188, 206-207, 211, 218

B

boeing 85, 93, 95, 136, 160, 196
brinelling 27
burnishing 27
burr 27

C

chattering 28
combustion 63-65, 71
compression 25
compressor 60-62

corrosion 27

crack 28

cut 28

D

dent 28
dinamis 76
drag 154, 158

E

elevator 81, 90
engineer 208, 220
erosion 28

F

fixed wing 30, 33
flap 13, 84, 86
fuselage 3, 5-6, 8-10, 12, 22

G

galling 28
gas Turbine Engine 48-52, 56, 69, 87, 213

gauge 148

ground 139, 172, 187

H

hydraulic 138-139, 180

I

inclusion 28
inlet 59-60

K

karbon dioksida 118

L

lift 15

M

maintenance 3-5, 8, 10-14, 17, 22-26, 48, 50, 52-56, 58, 61-62, 67, 76, 80, 85, 87-89, 111-116, 120-125, 127-128, 131, 133, 136, 143, 146-150, 155-157, 160, 162, 165-167, 175-180, 190, 198, 206-210, 215-216, 220-221

N

nick 28

P

piston engine 40
pitting 28
powerplant 9, 36, 48, 50, 52-56, 58, 61-62, 67, 195, 213

R

repair 210, 215, 220-221
rolling 81
rudder 82, 90

S

score 28
scratch 28
service 187
spoiler 87-88
stabilizer 91

T

type Certificate 190-191,
195

U

udara 2, 10-11, 14, 23, 25-
27, 29, 37, 44-45, 63, 103,
129, 172-174, 176-178,
190, 195, 199-211, 217

ultraviolet 189

V

vertical 10, 13, 94, 98-99,
102

W

weight 26

Profil Pelaku Perbukuan



Email:

maruli7104@gmail.com

Instansi:

SMKN 29 Jakarta

Alamat Instansi:

Jalan Prof. Jokosutono,
S.H. No. 1, Jakarta

Bidang Keahlian:

Teknologi Pesawat Udara

Profil Penulis

Maruli Tua, S.T., M.Pd.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

Guru di SMKN 29 Jakarta

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. SDN 09 PT, lulus tahun 1985
2. SMPN 52, lulus tahun 1988
3. SMT Penerbangan Negeri, lulus tahun 1991
4. S1 Teknik Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Dirgantara, lulus tahun 1997
5. Akta IV Universitas Terbuka Jakarta, lulus tahun 2001
6. S2 PTK Universitas Negeri Jakarta, lulus tahun 2018

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Aircraft Structure Jilid 1 (Ditpsmk 2019)
2. Maintenance Practice Semester 3 kelas XI (BE Ditpsmk)
3. Maintenance Practice Semester 4 kelas XI (BE Ditpsmk)

**Email:**

asepgunawan9966@gmail.com

Instansi:

SMKN 29 Jakarta

Alamat Instansi:

Jalan Prof. Jokusutono,
S.H. No. 1, Jakarta

Bidang Keahlian:

Teknologi Pesawat Udara

Profil Penulis

Ir. Drs. Asep Gunawan, M.T.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

Guru di SMKN 29 Jakarta

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Universitas Gunadarma, Magister Teknik Mesin Lulus Tahun 2014
2. IKIP Bandung Fakultas Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan, Teknik MesinPaket Teknologi Penerbangan, Lulus Tahun 1992
3. SMAN 2 Tasikmalaya, Lulus Tahun 1986
4. SMPN Cisayong Tasikmalaya Lulus Tahun 1983
5. SDN Cikadu Cisayong Tasikmalaya , Lulus Tahun 1980

Sertifikat /Licence

1. Basic Aircraft Technical Knowledge (BATK)
2. A1 (Airframe Fixed Wing Aircraft)
3. A4 (Gas Turbine Engine)
4. Sertifikasi Guru
5. Asesor Kompetensi Airframe Powerplant
6. Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Bidang Kedirgantaraan

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

Airframe Powerplant untuk SMK Penerbangan (For Ditpsmk)

**Email:**

aviator_tri@yahoo.com

Instansi:

-

Alamat Instansi:

-

Bidang Keahlian:

Teknologi Pesawat Udara

Profil Penulis

Tri Susilo, S.T., M.T.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Senior Auditor of Quality Assurance, PT. Lion Airlines (2019-sekarang).
2. Manager of Planning & Technical Services, PT. Lion Airlines (2016-2019).
3. Powerplant Engineering Specialist, PT. Batam Aero Technic (2007-2016).
4. Ketua Program Studi Teknik Penerbangan, Universitas DirgantaraMarsekal Suryadarma, Jakarta (2006-2007).

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Magister Teknik Mesin, University of Indonesia (2001-2003)
2. Sarjana Teknik Penerbangan, STT Dirgantara (1992-1998)
3. SMT Penerbangan, Jakarta (1989-1992)
4. SMP Negeri 39, Jakarta (1986-1989)
5. SD Negeri 07, Jakarta (1980-1986)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. "The Computational Analysis of Flight Line for Single Stage Rocket Model", January edition, Vol. V - No. 1, 2020, published in the Journal of Aerospace Technology (ISSN 2528-2778), Aerospace University of Air Marshal Suryadarma - Jakarta.
2. "Airflow Simulation with CFD for B737-NG & B737-8 MAX Engine Cowlings", July edition, Vol. IV - No. 2, 2019, published in the Journal of Aerospace Technology (ISSN 2528-2778), Aerospace University of Air Marshal Suryadarma - Jakarta.

**Email:**

ariasarianggraeni19@gmail.com

Instansi:

SMKN 6 Tangerang

Alamat Instansi:

Jl. AMD Manunggal X
Rt.006/ Rw.004 Kel.
Kedaung Wetan Kec.
Neglasari Kota Tangerang

Bidang Keahlian:

Teknik Pesawat Udara

Profil Penelaah

Ariasari Anggraeni, S.T., M.T.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru
2. Kepala Sekolah

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. SDN 2 Iringmulyo Metro Tahun 1990
2. SMPN 2 Metro Tahun 1993
3. SMAN 2 Metro Tahun 1996
4. S1 Universitas Suryadarma Jurusan Teknik Elektro Tahun 2001
5. S2 Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jurusan Magister Teknik Elektro Tahun 2005

**Email:**

bismil@unsurya.ac.id

Instansi:

Universitas Dirgantara
Marsekal Suryadarma

Alamat Instansi:

Jl. Protokol Halim Perdana
Kusuma No.1

Bidang Keahlian:

Teknologi Pesawat Udara

Profil Penelaah

Bismil Rabeta, S.T., M.T.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

Dosen Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. S1 (Sarjana Teknik Penerbangan) Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Tahun 2014-2017
2. S2 (Magister Teknik) Institut Teknologi Bandung, Tahun 2008-2011
3. S3 (Program Doktor) Institut Teknologi Bandung, Tahun 2022- sekarang

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Basic Aircraft Technical Knowledge. (No Kode : DAR2/Professional/833/1/2021)
2. Basic Aircraft Technical Knowledge. (No Kode: DAR2/Professional/833/2/2021)
3. Basic Aircraft Technical Knowledge. (No Kode : DAR2/Professional/833/3/2021)

Judul Penelitian dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

1. Aerodynamic Analysis on JABIRU J430 Wing with the Addition of Vortex Generator using CFD Method, Tahun 2022
2. Iteration Design of Forces Measuring Plate Mount On RIG Free Fall Test Equipment Using Topology Optimization, Tahun 2022
3. Graphical User Interface Simulation Thermodynamic Analysis of Turboprop Engines Using Matlab R2020a Software, Tahun 2021
4. Comparison of Thermodynamic Analysis of TPE-331 and PT6A-42 Engines Against Flight Altitude Variations, Tahun 2020
5. Analysis of the Influence of Winglets On The Wings Of Cessna 172 Aircraft Using XFLR5 Software, Tahun 2020



Email:
yudissimo@gmail.com

Instansi:
Praktisi

Alamat Instansi:
Jakarta

Bidang Keahlian:
Editing

Profil Editor

Yudi Iswanto, S.Pd.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Guru, SD Kreativitas Anak Indonesia, 2016-Sekarang
2. Editor & Penulis, Bintang Satu Agency, 2015-2016
3. Editor & Penulis, Zahra Publishing House, 2009-2015
4. Editor, Ganeca Exact, 2007-2009
5. Editor & Reporter, Majalah Pena Pendidikan, 2005-2007
6. Editor, Gema Insani Press, 2004-2005

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

1. Bahasa dan Budaya Italia, università Per Stranieri di Siena, Italia, 2005
2. S1 Bahasa dan Sastra Arab, Universitas Negeri Jakarta, 2004
3. SMKN 29, Jakarta, 1999
4. SMPN 9, Jakarta, 1996
5. SDN 06 KDW, Jakarta 1993

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

King Suleiman: The Magnificent, 2015

**Email:**

Danielirta89@gmail.com

Instansi:

Praktisi

Alamat Kantor:

Bekasi Utara 17124

Bidang Keahlian:

Multimedia & Desain

Profil Ilustrator

Daniel Tirta Ramana, S.Sn.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Sevenotes -EO (2010-2011)
2. Apple box - motion graphic (2011-2013)
3. Bloomberg Tv - Motion graphic (2012 - 2015)
4. iNews Tv indonesia - Motion graphic (2015 - 2017)
5. Founder & Owner di @sepatu.capung (shoes store) (2017-sekarang)
6. Local Pride Garage (Media - instagram, tiktok)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

S1: DKV IKJ - Multimedia (2007-2012).

Karya/Pameran/Eksibisi dan Tahun Pelaksanaan (10 Tahun Terakhir):

Pameran Tugas Akhir Institut Kesenian Jakarta (2012).

Judul Buku dan Tahun Terbit (10 Tahun Terakhir):

Desain dan Ilustrasi Buku Kurikulum 2013

Portofolio dapat dilihat di:

<https://www.behance.net/danielDTR>

**Email:**

purple_smile340@yahoo.
co.id

Instansi:

Praktisi

Alamat Instansi:

Jakarta

Bidang Keahlian:

Illustration, Infographic,
Graphic Design, Digital
Sculpting

Profil Ilustrator

Rio Ari Seno

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

Senior Graphic Designer di PT Tempo Inti Media Tbk
(2013-Present)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

S1 Fakultas Seni Rupa IKJ – DKV (2005-2011)

Informasi Lain Ilustrator

1. <https://www.behance.net/rioarisenno>
2. <http://artstation.com/rioarisenno>



Email:

syarif.achmad9@gmail.com

Instansi:

Praktisi

Alamat Instansi:

Jakarta

Bidang Keahlian:

Desain Grafis, Multimedia

Profil Desainer

Achmad Syarif, S.T.

Riwayat Pekerjaan/Profesi (10 Tahun Terakhir):

1. Desainer Merdeka Labelindo Group (2009-Sekarang)
2. Wirausaha di bidang Kuliner & Livestock (2016-Sekarang)
3. Music Arranger (2009-Sekarang)

Riwayat Pendidikan dan Tahun Belajar:

S1 Teknik Industri, UPI YAI, 2015