



KONSEP PESAWAT TERBANG

**Fathan Mubina Dewadi, Enggar Alfianto,
Ni Putu Yuni Nurmalasari, Aminatus Sa'diyah,
Sutiyono, Tungga Bhimadi Karya, Amal
Fatkhulloh, Cahyo Wibowo, Roban**

KONSEP PESAWAT TERBANG

**Fathan Mubina Dewadi
Enggar Alfianto
Ni Putu Yuni Nurmalasari
Aminatus Sa'diyah
Sutiyono
Tungga Bhimadi Karyasa
Amal Fatkhulloh
Cahyo Wibowo
Badaruddin Anwar
Roban**



GET PRESS INDONESIA

KONSEP PESAWAT TERBANG

Penulis :

Fathan Mubina Dewadi
Enggar Alfianto
Ni Putu Yuni Nurmallasari
Aminatus Sa'diyah
Sutiyono
Tungga Bhimadi Karyasa
Amal Fatkhulloh
Cahyo Wibowo
Badaruddin Anwar
Roban

ISBN : 978-623-198-566-8

Editor : Diana Purnama Sari, S.E., M.E

Penyunting : Ari Yanto, M.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, 5 Agustus 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Konsep Pesawat Terbang ini.

Buku Ini Membahas Dasar Pesawat Terbang, Komponen-komponen Pesawat Terbang, Gaya angkat pada pesawat terbang, Sudut Serang (*Angle of Attack*), Aplikasi Hukum Newton ke-III, Gaya berat pada pesawat terbang, Gaya dorong pada pesawat terbang, Sistem propulsi, Keseimbangan pesawat terbang, Karakteristik sayap pesawat terbang, Susunan bagian ekor pesawat terbang.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, 5 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 DASAR PESAWAT TERBANG	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Mekanisme Pesawat Terbang	3
1.3 Soal-Soal Latihan.....	4
DAFTAR PUSTAKA.....	6
BAB 2 INSTRUMEN PENERBANGAN.....	11
2.1 Pendahuluan.....	11
2.2 Pilot-static systems	12
2.2.1 Tekanan Statis.....	12
2.2.2 Instrumen yang masuk ke dalam pilot-static.....	13
2.3 Sistem kompas	18
2.4 Sistem Giroskopik.....	20
2.4.1 Attitude indicator	22
2.4.2 Heading Indicator.....	24
2.4.3 Turn and slip Indicator	26
2.5 Sistem Navigasi	29
2.6 Perkembangan Teknologi Era Digital	31
DAFTAR PUSTAKA.....	33
BAB 3 GAYA ANGKAT PADA PESAWAT TERBANG	35
3.1 Apa itu gaya angkat (lift)?	35
3.2 Teori terkait gaya angkat pada pesawat terbang.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....	46
BAB 4 ANGLE OF ATTACK	47
4.1 Pendahuluan.....	47
4.2 Gaya dalam pesawat	47
4.3 Gaya hambat.....	48
4.3.1 Profile drag.....	48
4.3.2 Induce drag.....	49

4.4 Sudut Serang.....	50
4.5 Penelitian Angle of Attack.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	56
BAB 5 APLIKASI HUKUM NEWTON-III	57
5.1 Pendahuluan.....	57
5.2 Hubungan Antara Massa, Berat, Gaya, Kecepatan Dan Percepatan Dalam Hukum Newton Iii.....	59
5.3 Konsep Dan Aplikasi Hukum Newton Iii.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BAB 6 GAYA BERAT PESAWAT TERBANG.....	79
6.1 Pendahuluan.....	79
6.2 Penentuan Letak Titik Berat Pesawat.....	80
6.3 Prediksi Komponen Berat Kosong Pesawat dan Posisinya	82
DAFTAR PUSTAKA.....	91
BAB 7 GAYA DORONG PADA PESAWAT TERBANG.....	93
7.1 Pendahuluan.....	93
7.2 Konsep Dasar	94
7.2.1 Prinsip Dasar Gaya Dorong	97
7.2.2 Daya Dorong Statis dan Daya Dorong Dinamis.....	97
7.2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Gaya Dorong ..	98
7.3 Jenis-jenis Sistim Dorong Pesawat Terbang	101
7.4 Gaya Dorong dan Performa Pesawat Terbang	103
7.5 Kesimpulan.....	109
DAFTAR PUSTAKA.....	110
BAB 8 SYSTEM PROPULSI	115
8.1 Pendahuluan.....	115
8.2 Sistem Propulsi	116
8.3 Piston	117
8.4 Propeller (baling-baling)	130
8.5 Sistem propulsi Turbine	137
8.6 Turbojet	138
8.7 Turbofan	140

8.8 Turboprop.....	143
8.9 Turboshift	145
8.10 Rocket engine	150
8.11 Electric propulsion	154
8.12 Penutup	162
DAFTAR PUSTAKA.....	163
BAB 9 KESETIMBANGAN PESAWAT TERBANG.....	167
9.1 Konsep Aerodinamis Pesawat.....	167
9.2 Gaya-gaya yang Berpengaruh Pada Kestimbangan	
Pesawat Terbang.....	169
9.2.1 Gaya Dorong (Thrust Force)	170
9.2.2 Gaya Hambat (Drag Force)	172
9.2.3 Gaya Berat (Weight)	177
9.2.4 Gaya Angkat (Lift)	179
9.2.5 Kestimbangan Gaya.....	180
DAFTAR PUSTAKA.....	183
BAB 10 KARAKTERISTIK SAYAP PESAWAT TERBANG .	185
10.1 Pendahuluan.....	185
10.2 Konfigurasi, Bentuk Dan Wing Tip	187
10.3 High Lift Deviced Sayap.....	189
10.4 Dimensi Dan Struktur Sayap	192
10.5 Perencanaan Sayap.....	195
10.5.1 Perencanaan ukuran sayap	195
10.5.2 Perencanaan bentuk sayap.....	200
DAFTAR PUSTAKA.....	205
BAB 11 SUSUNAN BAGIAN EKOR PESAWAT TERBANG.	207
11.1 Peran Ekor Pesawat Terbang	207
11.2 Desain Dan Kontruksi.....	211
11.3 Jenis Material.....	213
11.4 Aerodinamika Dan Prinsip-Prinsip	214
11.5 Jenis-Jenis Bagian Ekor Pesawat.....	215
11.5.1 Stabilizer	215
11.5.2 Aileron	216

11.5.3 Rudder	217
11.5.4 Elevator	218
11.5.5 Trim Tab	219
11.5.6 Anti-icing system	219
DAFTAR PUSTAKA.....	223
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Dasar-Dasar Pesawat Terbang	2
Gambar 1.2. Mekanisme Kerja Pesawat Terbang.....	4
Gambar 1.2. Rancang bangun pilot-static yang umum digunakan.....	13
Gambar 3.4. Ilustrasi altimeter dan bagian-bagian penyusun nya.....	14
Gambar 2.5. Ilustrasi Air Speed Indicator dengan satuan Knots dan MPH	17
Gambar 2.6. Gambar vertical speed indicator tampak depan.	18
Gambar 2.7. Kompas magnetik yang digunakan sebagai alat penunjuk arah di pesawat terbang.....	20
Gambar 2.8. Ilustrasi cara kerja sistem giroskopik pada pesawat	21
Gambar 2.9. ilustrasi cara kerja attitude indicator terhadap berbagai posisi pesawat.....	23
Gambar 2.10. Heading indicator tampak depan.....	25
Gambar 2.11. Heading indicator menampilkan arah berdasarkan azimuth 360°	26
Gambar 2.12. Indikator belok dan geser tampak depan	27
Gambar 2.13. Bagian penyusun instrumen indikaator belok dan geser	28
Gambar 2.14. Antar muka digital dan multi fungsi yang saat ini banyak digunakan di pesawat.....	32
Gambar 3.1. Gaya-gaya yang bekerja pada pesawat terbang.....	35
Gambar 3.2. Ilustrasi desain <i>airfoil</i>	36
Gambar 3.3. Variasi tekanan pada tiap permukaan badan pesawat.....	38

Gambar 3.4. Terminologi airfoil	38
Gambar 3.5. Ilustrasi variasi nilai angle of attack pesawat terhadap kecepatan	315
Gambar 4.1. Gaya pada pesawat	48
Gambar 4.2. Efek bentuk pada drag	416
Gambar 4.3. Induced drag	50
Gambar 4.3. Pengaruh perubahan sudut serang	51
Gambar 4.4. Pengaruh sudut serang terhadap gaya angkat	52
Gambar 4.5. Jenis-jenis perangkat <i>leading edge</i>	54
Gambar 5.1. interaksi dari dua buah benda	58
Gambar 5.2. gaya normal	61
Gambar 5.3. gaya gesek	61
Gambar 5.4. uraian gaya	62
Gambar 5.5. benda pada bidang datar	63
Gambar 5.6. benda di bidang miring	64
Gambar 5.7. gaya aksi reaksi	67
Gambar 5.8. gaya aksi reaksi	68
Gambar 5.9. gaya aksi reaksi	617
Gambar 5.10. Benda Dihubungkan Dengan Katrol	72
Gambar 7.1. Empat gaya: berat, daya angkat, daya hambat, dan daya dorong	185
Gambar 7.3. Mesin Piston	1920
Gambar 7.4. Mesin Turbo Jet	100
Gambar 7.5. Mesin Turbopan	100
Gambar 7.6. Mesin Turboprop	101
Gambar 7.7. Mesin Listrik	101
Gambar 7.8. Pesawat Bermesin Piston: Piper Archer III	102
Gambar 7.9. Pesawat Bermesin TURBOPROP: N219 DAN CN295	102
Gambar 7.10. Pesawat Bermesin Turbopan: B787f Dreamliner	102

Gambar 7.11.	Pesawat Bermesin Turbojet: KF-21 Boramae, Hasil Kerjasama Indonesia Dan Korea Selatan	103
Gambar 7.12.	Pesawat Terbang LISTRIK Pertama Di Dunia: Eviation.....	103
Gambar 7.13.	Efek Kecepatan Terhadap DOWNWASH	104
Gambar 7.14.	Pengurangan Power Akan Memungkinkan PITCH DOWN.....	105
Gambar 7.15.	Garis Gaya Dorong Mempengaruhi Stabilitas Longitudinal	106
Gambar 7.16.	Perubahan Daya Dorong Mempengaruhi Stabilitas Longitudinal	108
Gambar 8.21.	Grafik antara ketinggian dan kecepatan jelajah terhadap kebutuhan jenis pesawat dan sistem pendorong.....	116
Gambar 8.22.	Ilustrasi pesawat degan pendorong baling – baling, udara dari depan pesawat didorong oleh baling baling ke belakan pesawat sehingga pesawat dapat bergerak.....	118
Gambar 8.23.	Sistem propulsi Piston dengan mesin piston lengkap dengan propeller.....	119
Gambar 8.24.	Sistem pendingin mesin ROTAX.....	119
Gambar 8.25.	Komponen utama mesin piston.....	120
Gambar 8.26.	Siklus mesin piston 4 langkah, isap, kompresi, pengapian dan ekspansi, pembuangan gas buang.	121
Gambar 8.27.	Two stroke gasoline engine, 2 langkah piston satu kali pembakaran.....	122
Gambar 8.28.	Hirth Engine 2 stroke	122
Gambar 8.29.	Dimensi mesin 2 langkah 4 silinder HIRTH	123
Gambar 8.30.	Mesin penggerak 4 langkah, 4 cylinder	123
Gambar 8.31.	Mesin pesawat ringan Rotax 4 cylinder	124

Gambar 8.32. Mesin penggerak 4 langkah piston 6 cylinder Horizontal	124
Gambar 8.33. Mesin penggerak piston 8 cylinder Horizontal.....	125
Gambar 8.34. Poros Engkol (crankshaft) mesin piston 4 cylinder	125
Gambar 8.35. Lycoming Thunderbolt 540 tampak atas	126
Gambar 8.36. Mesin radial 6 silinder	127
Gambar 8.37. Radial Engine 7 cylinder.....	128
Gambar 8.38. Radial engine Pratt & Whitney R-1340 radial engine	129
Gambar 8.39. Mesin piston dipasang pada hidung pesawat.....	130
Gambar 8.40. Struktur propeller	133
Gambar 8.41. <i>Composite blade</i>	134
Gambar 8.42. Hasil Perhitungan disimulasikan menggunakan <i>software</i> untuk mendapatkan hasil design yang dapat diaplikasikan saat pembuatan baling-baling	135
Gambar 8.43. <i>Five blade propeller</i>	135
Gambar 8.44. Pilatus PC-12 with 7-blade MTV-47 Pilatus seven blade.....	136
Gambar 8.45. Mesin bernafas dengan udara.....	137
Gambar 8.46. Turbine Engine	138
Gambar 8.47. Jet engine basic, dalam mesin turbojet, semua daya dorong dihasilkan dengan mengeluarkan gas panas keluar dari nosel dengan kecepatan "jet" yang tinggi.....	139
Gambar 8.48. Turbojet engine	140
Gambar 8.49. Tubofan jet engine	141
Gambar 8.50. Bagian-bagian mesin jenis turbopan.....	141

Gambar 8.51. Turbofan CFM5 sebagai mesin pendorong pesawat berbadan besar.....	142
Gambar 8.52. Pesawat Boing 737 bermesin turbofan buatan CFM. 142	
Gambar 8.53. <i>Fixed-shaft turboprop engine</i>	143
Gambar 8.54. Dalam turboprop, tahap turbin memberikan daya ke poros untuk menggerakkan baling-baling yang menghasilkan semua gaya dorong.	144
Gambar 8.55. Mesin jenis turboprop	144
Gambar 8.56. Pilatus PC-12 NGX menggunakan mesin <i>Twin & Turbine</i>	145
Gambar 8.57. Prinsip kerja mesin <i>turboshaft</i>	146
Gambar 8.58. Potongan mesin <i>turboshaft</i>	147
Gambar 8.59. Turboshaft Helicopter Engine 3d model, Engineering, Helicopter	147
Gambar 8.60. Mesin turboprop terpasang pada helikopter.....	148
Gambar 8.61. Helicopter Airbus AS350B2, Switzerland, 2006.....	148
Gambar 8.62. Perbandingan antara siklus <i>turbo-jet engine</i> dan <i>piston engine</i>	149
Gambar 8.63. Struktur mesin roket.....	150
Gambar 8.64. Mesin roket yang diuji, dalam hal ini yang menggunakan hidrogen dan oksigen sebagai propelan sehingga knalpotnya hampir tidak terlihat dalam bentuk uap super panas.....	151
Gambar 8.65. Prinsip pembangkitan dorong untuk mesin roket.....	152
Gambar 8.66. Mesin roket berbahan bakar cair	153
Gambar 8.67. Aplikasi mesin roket pada roket ruang angkasa.	154

Gambar 8.68. Contoh pesawat kecil jenis penerbangan umum, yang ditenagai oleh motor listrik yang menggerakkan baling-baling.	155
Gambar 8.69. Contoh pesawat “ <i>all-electric</i> ” yang ditenagai oleh baterai dan motor listrik bertenaga 400 kW yang menggerakkan baling-baling.	156
Gambar 8.70. Instalasi Motor listrik dengan propeller pada <i>Rolls-Royce</i>	157
Gambar 8.71. Electric Propulsion Rolls-Roys saat terbang.....	157
Gambar 8.72. Drone pengintai untuk keperluan militer yang sedang beroperasi	158
Gambar 8.73. Bagian-bagian dari UAV.....	159
Gambar 8.74. Drone Baykar buatan Turkiye	160
Gambar 8.75. Peswat terbang dengan solar cell <i>Sunseeker II</i>	161
Gambar 8.76. Pengembangan pesawat dengan tenaga surya <i>SunseekerDuo</i>	161
Gambar 9.1. Aerodinamika pesawat	168
Gambar 9.2. Sumbu Pesawat Terbang	169
Gambar 9.3. <i>Thrust</i>	170
Gambar 9.4. Level Kecepatan	171
Gambar 9.5. <i>Dra</i>	173
Gambar 9.6. <i>Induced Drag</i>	174
Gambar 9.7. <i>Vortex</i> pada pesawat	176
Gambar 9.8. <i>Induced Drag I</i>	177
Gambar 9.9. <i>Weight</i>	178
Gambar 9.10. <i>Lift</i>	179
Gambar 9.11. Kesetimbangan Gaya	181
Gambar 9.12. Kontrol Stabilitas Gaya 3 Sumbu Pesawat.....	182
Gambar 11.1. Ekor Pesawat Terbang.....	208

Gambar 11.2. *Vertical Stabilizer*..... 215
Gambar 11.3. *Aileron*..... 217
Gambar 11.4. *Rudder*..... 218

BAB 1

DASAR PESAWAT TERBANG

Oleh Fathan Mubina Dewadi

1.1 Pendahuluan

Sebagian dasar-dasar pesawat melambung antara lain ialah sayap, mesin, tubuh pesawat, ekor, sistem kelistrikan, sistem hidrolik, sistem materi bakar, sistem pelayaran, sistem zat asam, serta sistem pemadam kebakaran. Sayap merupakan bagian penting pesawat melambung yang berperan buat menciptakan *lift* yang dibutuhkan buat melindungi pesawat melambung senantiasa di udara (Amir & Dewadi, 2022).

Sayap umumnya dibuat dari materi metal ataupun agregat serta mempunyai profil aerodinamis spesial buat menghasilkan *style* ambil. Mesin merupakan bagian penting yang menggerakkan pesawat melambung serta membolehkan pesawat melambung buat melambung (Khoirudin, *et al.*, 2021).

Terdapat bermacam tipe mesin, semacam mesin jet, mesin turbo prop, serta mesin piston. Tubuh pesawat merupakan bentuk penting pesawat melambung yang menampung kabin serta bagasi. Tubuh pesawat umumnya dibuat dari materi enteng semacam aluminium ataupun agregat. Ekor pesawat terdiri dari *stabilizer* lurus serta mendatar, serta kemudi (Abbas, *et al.*, 2020).

Ekor berperan buat mengatur pesawat melambung dikala melambung serta dikala bebas alas serta berlabuh. Sistem kelistrikan pesawat melambung menyediakan listrik buat bermacam sistem serta perlengkapan di dalam pesawat, semacam sistem pelayaran serta komunikasi, lampu, serta sistem pemanas (Murtalim, Dewadi, & Sunandar, Analisis Unjuk Kerja Ecoracing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar, 2020). Sistem

hidraulik pesawat melambung dipakai buat menggerakkan sistem pengereman, sistem kemudi, serta sistem lain yang menginginkan daya hidrolik (Murtalim, Dewadi, Amir, & Sigalingging, 2021). Sistem materi bakar pesawat melambung dipakai buat menaruh, memompa, serta mengalirkan materi bakar ke mesin pesawat melambung (Wibowo & Dewadi, Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis, 2022).

Sistem pelayaran pesawat melambung terdiri dari instrumen serta fitur yang membolehkan angkasawan buat mengenali posisi pesawat melambung serta memusatkan pesawat melambung ke tujuan dengan nyaman (Dewadi, Matriks dan Operasinya, 2022). Sistem zat asam pesawat melambung dipakai buat sediakan zat asam untuk badan pesawat sepanjang melambung di ketinggian yang besar (Dewadi, Kimia Dasar II, 2023). Sistem pemadam kebakaran pesawat melambung dipakai buat menghindari serta mematikan kebakaran di dalam pesawat melambung (Al-Afgani, Dewadi, & Wibowo, 2021). Berikut akan dijelaskan mengenai dasar-dasar pesawat terbang pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. Dasar-Dasar Pesawat Terbang (Fahmiristyo, 2023)

1.2 Mekanisme Pesawat Terbang

Pesawat melambung bertugas bersumber pada prinsip-prinsip bawah fisika, khususnya prinsip Bernoulli serta hukum aksi Newton (Dimiyati, *et al.*, 2021). Prinsip Bernoulli ialah prinsip yang menarangkan kalau kala sesuatu larutan ataupun gas mengalir lewat sesuatu dataran yang mempunyai kurva ataupun ujung, kecekatan gerakan larutan ataupun gas hendak bertambah sebaliknya titik berat hendak menyusut (Nanda, Supriyono, Sugiharto, Raja Ma'arof, & Dewadi, 2022).

Di dalam pesawat melambung, prinsip ini diaplikasikan pada sayap dan ekor pesawat (Jati, Sofiyanti, & Dewadi, 2022). Sayap pesawat didesain buat mempunyai wujud serta profil khusus yang menciptakan gaya ambil (*lift*) pada dikala pesawat melambung (Farahdiansari, Dewadi, & Rahdiana, 2021). Kala pesawat melambung beranjak, hawa mengalir di atas serta di dasar sayap (Nanda, Supriyanto, Karyadi, & Dewadi, 2023).

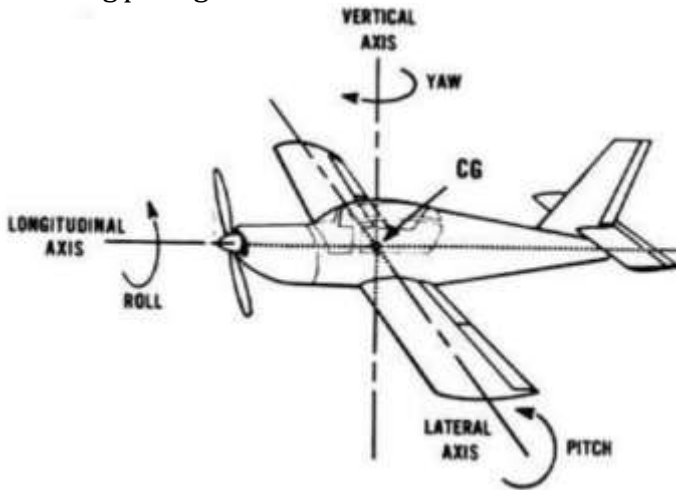
Hawa di atas sayap mempunyai kecekatan yang lebih besar dari hawa di dasar sayap, alhasil titik berat hawa di atas sayap lebih kecil dari titik berat hawa di dasar sayap. Perihal ini menciptakan *style* ambil yang melindungi pesawat melambung senantiasa di hawa (Raja Ma'arof, Saputra, & Dewadi, 2021).

Hukum aksi Newton ialah Hukum aksi Newton menarangkan kalau sesuatu barang hendak senantiasa bungkam ataupun beranjak lurus ke arah yang serupa melainkan bila terserang gaya eksternal (Dewadi, Perpindahan Panas, 2022). Di dalam pesawat melambung, hukum ini diaplikasikan pada mesin pesawat melambung serta kemudi pesawat melambung (Supriyanto, Karyadi, Dewadi, Jati, Kurniawan, & Nanda, 2022).

Mesin pesawat melambung menciptakan *style* sorong (*thrust*) yang mendesak pesawat melambung ke depan, sedangkan kemudi pesawat melambung dipakai buat memusatkan pesawat melambung ke arah yang di idamkan (Dewadi, Pengaruh

Pemanasan BBM Campuran dengan Parameter Pemanasan Suhu terhadap Densitas Bahan Bakar, 2023).

Berikut akan dijelaskan mengenai mekanisme kerja pesawat terbang pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Mekanisme Kerja Pesawat Terbang (Wiratama, 2016)

Tidak hanya itu, pesawat melambung pula dilengkapi dengan sistem-sistem yang *mensupport* operasinya, semacam sistem kelistrikan, sistem hidraulik, serta sistem pelayaran (Lutfin, et al., 2023). Sistem- sistem itu mengendalikan serta menggerakkan bermacam bagian pesawat melambung semacam kemudi, cakra pendaratan, serta sistem pengereman buat melindungi keamanan penerbangan (Mulyadi, Dewadi , Sukarman, Budiansyah, & Kurniawan, 2023).

1.3 Soal-Soal Latihan

1. Apa yang mendasari pesawat terbang bisa terbang di udara dan mendarat dengan bebas i (Dewadi, Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube in Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif, 2021)?

2. Berikanlah uraian rumus terkait jika pesawat terbang bisa turun ke tanah $i(f \text{ ix } ig)(x) \text{ i}$ (Dewadi, Ruang Lingkup Teknik Pendingin dan Pengkondisian, 2023)!
3. Bagaimana kriteria ban yang baik untuk digunakan pada pesawat terbang (Dewadi, Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W, 2016)?
4. Perlukah sebuah inovasi pesawat terbang yang mekanisme laju seperti helikopter yang berarti terbang tidak setinggi pesawat terbang (Dewadi, Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W, 2016)?
5. Kondisi seperti apa yang tidak baik dilalui saat pesawat terbang berada di Udara (Dewadi F. M., Amir, Rahman, Ramdani, & Suciyanti, 2022)?

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Prayitno, P., Butarbutar, F., Nurkim, N., Prumanto, D., Dewadi, F. M., et al. 2020. Implementation of Clustering Unsupervised Learning using K-Means Mapping Techniques. *Annual Conference on Computer Science and Engineering Technology (AC2SET) 2020* (pp. 1-7). Medan: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Al-Afgani, A., Dewadi, F. M., & Wibowo, C. 2021. Implementasi Material Titanium pada Sepeda Listrik sebagai Rangka yang Efisien. *JTMMX*, 13-18.
- Amir, & Dewadi, F. M. 2022. Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanik Terapan*, 18-25.
- Dewadi, F. M. 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains Dan Teknologi Al-Kamal, Jakarta.
- Dewadi, F. M. 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains Dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M. 2021. Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube in Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif. *JTMMX*, 28-36.
- Dewadi, F. M. 2021. Pembelajaran dan Pengenalan Musik dalam Melatih Daya Ingat Anak. Surabaya: UIN Surabaya.
- Dewadi, F. M. 2021. Pengaruh Analisis Manajemen Stres Kinerja Perusahaan terhadap Pencapaian Kinerja Karyawan Optimal berdasarkan Pengalaman Pemuda Kreatif Kavling Rawa Bunga Tangerang Selatan. Bukit Tinggi: IAIN Bukit Tinggi.

- Dewadi, F. M. 2021. Sistem Homeschooling dalam Inovasi Pendidikan di Era Revolusi Industri 5.0. *Jurnal Informatikadan Teknologi Pendidikan*, 1-8.
- Dewadi, F. M. 2022. Matriks dan Operasinya. In P. T. Cahyono (Ed.), *Matriks dan Ruang Vektor* (p. 109). Batam: Cendikia Mulia Mandiri.
- Dewadi, F. M. 2022. Perpindahan Panas. In R. Pido (Ed.), *Klasifikasi Perpindahan Panas* (p. 170). Bandung: Indie Press.
- Dewadi, F. M. 2023. Kimia Dasar II. In M. Sari (Ed.), *Gejala Keradioaktifan Unsur-Unsur Tidak Stabil* (p. 146). Padang: PT. Global Eksekutif Teknologi .
- Dewadi, F. M. 2023. Pengaruh Pemanasan BBM Campuran dengan Parameter Pemanasan Suhu terhadap Densitas Bahan Bakar. Karawang: Universitas Buana Perjuangan Karawang.
- Dewadi, F. M. 2023. Ruang Lingkup Teknik Pendingin dan Pengkondisian. In A. Yanto (Ed.), *Teknik Pendingin dan Tata Udara* (p. 117). Padang: Global Eksekutif Teknologi.
- Dewadi, F. M., Amir, Rahman, M. A., Ramdani, R. T., & Suciyanti, Q. P. 2022. Upaya Meminimalisir Kadar Debu Pada Laboratorium Teknik Mesin dengan Vertical Garden. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 4(2), 128-135.
- Dimiyati, D., Ashiedieque, A. D., Khoirudin, Sukarman, Dewadi, F. M., Rahdiana, N., et al. 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-SteelBeda Ketebalan. *BorobudurEngineering Research (BENR)*, 02(01), 96-107.
- Fahmirstyo. 2023. *Wordpress*. Retrieved April 19, 2023, from <https://fahmirstyo.wordpress.com/2013/09/06/prinsip-dasar-pesawat-terbang/>
- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M., & Rahdiana, N. 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), 1-5.

- Jati, R. R., Sofiyanti, B., & Dewadi, F. M. 202). Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 300-305.
- Khoirudin, Sukarman, Murtalim, Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rais, A., et al. 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), 96-103.
- Lutfin, N. A., Dewadi, F. M., Ratnadewi, Randjawali, E., Zahriah, Rusydi, et al. 2023. *Patent No. 000454120*. Indonesia.
- Mulyadi, D., Dewadi, F. M., Sukarman, Budiansyah, A. C., & Kurniawan, B. R. 2023. Perbandingan Sifat-Sifat Mekanik Material Hytrel 5557M Murni dan Campuran Daur Ulang. Karawang: Universitas Buana Perjuangan Karawang.
- Murtalim, Dewadi, F. M., & Sunandar. 2020. Analisis Unjuk Kerja Ecoracing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar. *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2020)* (pp. 335-340). Malang: Universitas Widyagama Malang.
- Murtalim, Dewadi, F. M., Amir, & Sigalingging, W. S. 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, 101-118.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., Karyadi, & Dewadi, F. M. 2023. Penggunaan Sensor MPX5500DP Untuk Monitoring Sistem HVAC Berbasis Mikrokontroler dan IOT. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 1-8.
- Nanda, R. A., Supriyono, T., Sugiharto, Raja Ma'arof, R. A., & Dewadi, F. M. 2022. Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *JTMMX*, II(2), 1-8.

- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. A., & Dewadi, F. M. 2021. Coordinated Way to Deal With Schooling Educational Plan Based on Current Industry Needs in Indonesia. *on Advancing and Redesigning Education*, 131-140.
- Supriyanto, A., Karyadi, Dewadi, F. M., Jati, R. R., Kurniawan, L. A., & Nanda, R. A. 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler Berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *Buana Ilmu*, 43-55.
- Wibowo, C., & Dewadi, F. M. 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO : Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika* , 60-65.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B., & Dewadi, F. M. 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik*, 20-27.
- Wiratama, C. 2016. *AE Solution*. Retrieved April 19, 2023, from aeroengineering.co.id/2016/01/control-surface-pada-pesawat-terbang/

BAB 2

INSTRUMEN PENERBANGAN

Oleh Enggar Alfianto

2.1 Pendahuluan

Saat ini pesawat terbang merupakan alat transportasi yang tak bisa digantikan oleh alat transportasi lain. Hal ini dikarenakan daya jelajah dan kecepatan pesawat yang sulit ditandingi oleh alat transportasi lain. Kebanyakan pesawat terbang digunakan untuk perjalanan jarak jauh, melintasi pegunungan, laut dan bahkan samudera. Dengan daya lintas yang seperti itu, keselamatan penumpang dan awak pesawat perlu dijamin dengan baik.

Salah satu alat yang sangat penting untuk penjamin keselamatan terbang adalah instrumen-instrumen yang ada di ruang kokpit. Instrumen tersebut digunakan oleh pilot untuk mengambil keputusan tentang arah, ketinggian, cuaca dan bahkan lintasan mana yang aman untuk dilewati. Instrumen tersebut berupa sensor, analog dan sensor yang sudah tersedia dalam bentuk digital.

Penggunaan instrumen penerbangan diatur dalam *Visual Flight Rule* (VFR). Instrumen bantu yang wajib dimiliki pesawat terbang di antaranya adalah *Air Speed Indicator* (ASI), altimeter, dan *magnetic direction indicator*. Instrumen lain yang keberadaannya diatur dalam *Instrument Flight Rules* (IFR) adalah *gyroscopic rate-of-turn indicator*, *slip-skid indicator*, *sensitive altimeter adjustable for barometric pressure*, jam yang menunjukkan jam, menit, dan detik berbentuk digital atau analog (dengan *sweep-second pointer*), *gyroscopic pitch-and-bank indicator* (horizon artifisial), dan *gyroscopic direction indicator* (*directional gyro* atau sejenisnya).

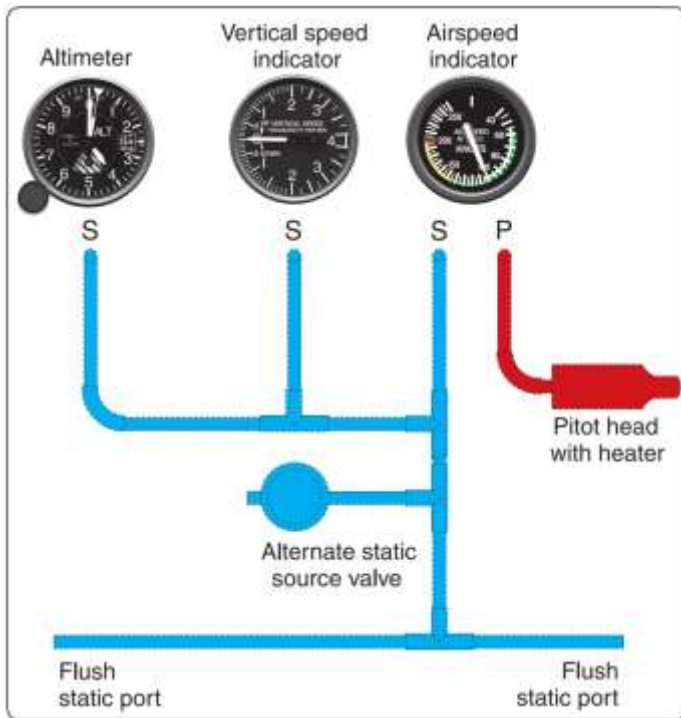
2.2 Pilot-static systems

Sistem ini berkaitan dengan *pilot pressure*/tekanan pengontrol (tekanan tambahan yang digunakan untuk menggerakkan atau mengontrol komponen hidrolis) atau pengaruh tekanan udara. Sistem ini berfungsi untuk mengukur hal-hal yang berhubungan dengan tekanan udara. Pengukuran nya dilakukan dengan tabung ujung terbuka (*open-end tube*) terhadap aliran angin di sekitar pesawat. Untuk membaca data, tabung tersebut terhubung dengan ASI atau komputer, bergantung pada jenis pesawat. [Enggar, 2005]

2.2.1 Tekanan Statis

Tekanan statis juga digunakan ASI dan beberapa instrumen pilot static instrument untuk mengukur ketinggian (*altitude*) dan laju vertikal. Tekanan statis kemungkinan diukur pada satu atau lebih lokasi pada pesawat. Sebagian lain nya mungkin dipasang rata di badan pesawat atau diintegrasikan ke dalam tabung pilot yang dipanaskan secara elektrik. Lokasi ganda ini mencegah pergerakan lateral pesawat memberikan indikasi tekanan statis yang salah. Area di sekitar port statis dapat dipanaskan dengan elemen pemanas listrik untuk mencegah pembentukan es di atas terminal dan menghalangi masuknya udara statis.

Tiga instrumen dasar yang dioperasikan menggunakan tekanan ditemukan di panel instrumen pesawat terbang di bawah IFR. Instrumen tersebut adalah ASI, altimeter sensitif, dan indikator kecepatan vertikal (VSI). Ketiga instrumen menerima tekanan udara statis untuk pengoperasian, hanya ASI yang menerima tekanan pilot dan statis. Rancang bangun instrumen dapat dilihat pada Gambar 77.78.



Gambar 77.78. Rancang bangun pilot-static yang umum digunakan (sumber: Instrument flying handbook)

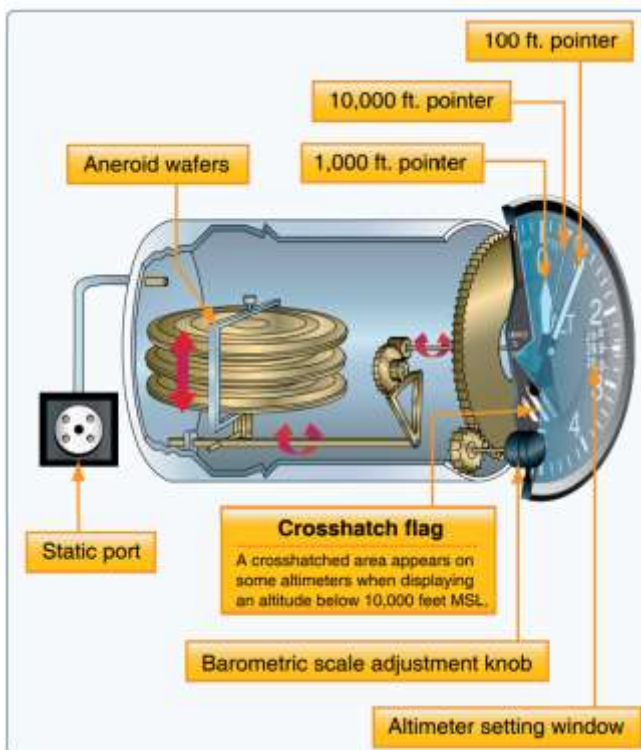
2.2.2 Instrumen yang masuk ke dalam *pilot-static*

Instrumen yang digolongkan berkaitan dengan tekanan statik adalah:

1. Altimeter

Altimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur ketinggian suatu objek di atas permukaan laut atau referensi tertentu. Altimeter umumnya digunakan pada pesawat terbang untuk membantu pilot dalam navigasi udara. Altimeter bekerja berdasarkan prinsip perubahan tekanan udara dengan ketinggian. Alat ini dilengkapi dengan sebuah jarum penunjuk yang

menunjukkan ketinggian dalam satuan kaki atau meter. Dalam operasinya, altimeter menggunakan referensi tekanan udara yang biasanya diatur ke standar tekanan atmosferik pada permukaan laut. Dengan mengukur perubahan tekanan udara saat pesawat naik atau turun, altimeter memberikan informasi ketinggian yang akurat kepada pilot (Tipler, 2008).



Gambar 79.80. Ilustrasi altimeter dan bagian-bagian penyusunnya (Sumber: [U.S. Department of Transportation, 2016])

Altimeter menggunakan kapsul yang terbuat dari logam yang sangat sensitif terhadap perubahan tekanan

atmosfer. Kapsul ini ditempatkan di dalam alat dan dihubungkan dengan jarum penunjuk. Ketika tekanan atmosfer berubah, kapsul akan mengembang atau menciut, memindahkan jarum penunjuk sesuai dengan perubahan ketinggian. Jarum penunjuk pada altimeter biasanya terbagi menjadi unit ketinggian yang lebih kecil, seperti kaki atau meter, untuk memudahkan pembacaan. Altimeter juga dilengkapi dengan pengaturan tekanan referensi yang memungkinkan pilot mengatur altimeter agar menunjukkan ketinggian pesawat di atas permukaan laut (Anderson, 2001).

Altimeter memiliki peran penting dalam penerbangan dan navigasi udara. Informasi ketinggian yang diberikan oleh altimeter membantu pilot dalam mempertahankan ketinggian yang aman saat terbang di atas medan yang berbeda-beda. Ketika pesawat naik atau turun, altimeter akan menunjukkan perubahan ketinggian secara *real-time*, memberikan indikasi yang akurat kepada pilot mengenai posisi vertikal pesawat dalam penerbangan. Informasi ini sangat penting dalam menjaga jarak aman dengan objek lain seperti pegunungan, menara, atau bangunan tinggi lainnya.

2. *Air speed Indicator (ASI)*

Air Speed Indicator (ASI) adalah salah satu instrumen penerbangan yang penting dalam pesawat terbang. Instrumen ini digunakan untuk mengukur kecepatan relatif pesawat terhadap massa udara di sekitarnya. Prinsip kerja ASI didasarkan pada perbedaan tekanan antara udara yang mengenai muka depan penunjuk kecepatan dan udara di sekitar penunjuk tersebut. Dengan menggunakan prinsip ini, ASI dapat memberikan informasi mengenai kecepatan pesawat dalam satuan kecepatan udara atau knot. Informasi

yang diberikan oleh ASI sangat penting bagi pilot untuk menjaga kestabilan penerbangan dan menerapkan prosedur yang tepat [De Remer, 1994] [U.S. Department of Transportation, 2016].

Penunjuk kecepatan udara juga dapat memberikan indikasi kesalahan ketika terjadi gangguan pada instrumen atau pada kondisi penerbangan tertentu. Contohnya, pada ketinggian yang tinggi atau ketika pesawat berada pada kecepatan yang sangat rendah, penunjuk kecepatan udara mungkin memberikan pembacaan yang tidak akurat. Oleh karena itu, pilot harus memiliki pemahaman yang baik tentang karakteristik ASI serta memperhatikan faktor-faktor pengaruh seperti suhu udara dan ketinggian. Dengan memahami dan menginterpretasikan dengan benar informasi yang diberikan oleh ASI, pilot dapat membuat keputusan yang tepat untuk menjaga keselamatan penerbangan [U.S. Department of Transportation, 2016].

Pengembangan teknologi dalam avionik telah membawa perubahan pada desain dan fungsi ASI. Beberapa pesawat modern menggunakan ASI yang terhubung dengan sistem pengukur digital yang lebih akurat dan canggih. Selain itu, beberapa ASI juga dilengkapi dengan mode pengukuran lainnya, seperti mode indikasi kecepatan tanah atau kecepatan sejati, yang memberikan informasi tambahan kepada pilot. Meskipun demikian, pemahaman dasar mengenai ASI dan prinsip kerjanya tetap penting bagi setiap pilot. Dalam situasi darurat atau ketika terjadi kerusakan pada sistem avionik yang lebih kompleks, pemahaman tentang ASI yang sederhana dapat menjadi pengetahuan yang sangat berharga. Ilustrasi ASI ditunjukkan pada Gambar 2.81 [U.S. Department of Transportation, 2016]



Gambar 2.81. Ilustrasi Air Speed Indicator dengan satuan Knots dan MPH (Sumber: [Croucher, 2007])

3. *Vertical speed indicator*

Vertical speed indicator (VSI) adalah alat yang digunakan dalam penerbangan untuk mengukur kecepatan vertikal pesawat. Alat ini memberikan informasi tentang perubahan ketinggian dalam satuan kaki per menit. VSI menggunakan tekanan udara di dalam tabung untuk menentukan perubahan ketinggian. Ketika pesawat naik atau turun, perubahan tekanan udara akan dideteksi oleh VSI dan ditampilkan sebagai kecepatan vertikal. VSI sangat penting dalam penerbangan karena memberikan informasi yang diperlukan untuk menjaga tingkat ketinggian yang tepat dan menghindari bertabrakan dengan objek lain di udara.



Gambar 2.82. Gambar vertical speed indicator tampak depan.
(Sumber: [U.S. Department of Transportation, 2016]).

2.3 Sistem kompas

Salah satu alat tertua dan sederhana untuk menunjukkan arah adalah kompas magnetik. Ini juga merupakan salah satu alat dasar yang diperlukan oleh *Title 14 of the Code of Federal Regulations* (14 CFR) part 91 untuk penerbangan VFR dan IFR.

Magnet adalah material yang biasanya logam yang mengandung besi, yang menarik dan menahan garis fluks magnetik. Terlepas dari ukurannya, setiap magnet memiliki dua kutub: utara dan selatan. Ketika satu magnet ditempatkan di medan magnet yang lain, kutub yang berbeda saling tarik, sedangkan kutub yang sama saling tolak.

Kompas magnetik pesawat, seperti yang terlihat pada Gambar 2.83, memiliki dua magnet kecil yang terpasang pada suatu benda terapung logam yang terletak di dalam sebuah mangkuk berisi cairan kompas yang transparan mirip dengan minyak tanah. Skala yang terukur, disebut sebagai papan, melingkari benda terapung dan dapat dilihat melalui jendela kaca dengan garis panduan di tengahnya. Papan tersebut ditandai dengan huruf-huruf yang mewakili arah utama, yaitu utara, timur, selatan, dan barat, dan sebuah angka untuk setiap penambahan 30° antara huruf-huruf tersebut. Angka "0" terakhir tidak disertakan dalam penunjukan arah ini. Sebagai contoh, angka 3 = 30° , 6 = 60° , dan 33 = 330° .

Benda terapung dan susunan papan ber-poros baja yang keras di tengahnya yang bergerak di dalam sebuah cangkir berlian kaca yang khusus dan dilengkapi dengan pegas. Daya apung dari benda terapung ini mengurangi beban pada poros, dan cairan tersebut meredam getaran benda terapung dan papan. Pemasangan jenis berlian dan poros ini memungkinkan benda terapung untuk berputar dan miring dengan sudut kemiringan hingga sekitar 18° . Pada sudut kemiringan yang lebih curam, indikasi kompas menjadi tidak stabil dan sulit diprediksi.

Sistem kompas pada pesawat terbang merupakan salah satu instrumen navigasi utama yang digunakan untuk menentukan arah pesawat. Kompas pesawat terbang beroperasi berdasarkan prinsip magnetisme bumi (Gambar 2.83). Jarum kompas akan menunjuk ke arah utara magnetik, yang sejajar dengan sumbu rotasi bumi. Dalam pesawat terbang, sistem kompas biasanya terintegrasi dengan instrumen lain, seperti HSI (Horizontal Situation Indicator) atau ADI (*Attitude Director Indicator*), untuk memberikan informasi navigasi yang lebih lengkap kepada pilot. [Kermode, 2013]

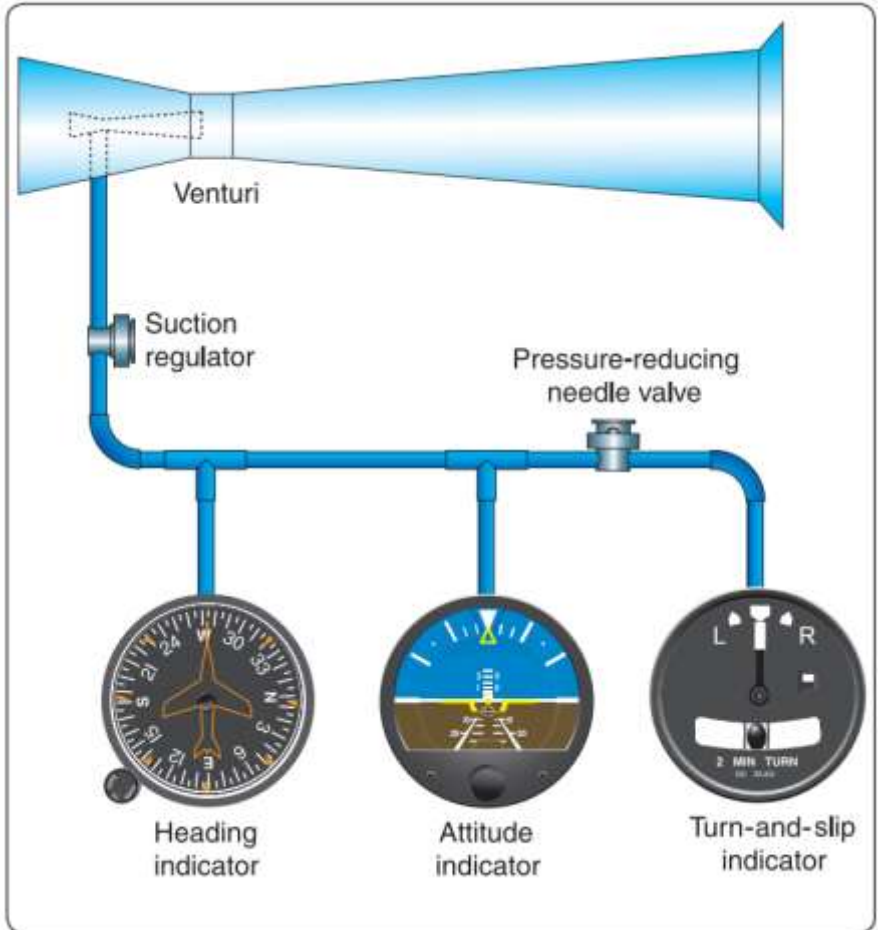


Gambar 2.83. Kompas magnetik yang digunakan sebagai alat penunjuk arah di pesawat terbang. (Sumber: [U.S. Department of Transportation, 2016])

2.4 Sistem Giroskopik

Sistem giroskopik adalah sebuah sistem yang menggunakan prinsip gerak giroskop untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, arah, atau posisi suatu benda dalam ruang tiga dimensi (Gambar 2.84). Giroskop sendiri adalah suatu alat yang memanfaatkan prinsip kekekalan momentum sudut untuk menjaga orientasinya tetap stabil meskipun terdapat perubahan pada posisi atau arahnya. Dalam konteks penerbangan, sistem giroskopik sering digunakan untuk navigasi dan kontrol pesawat terbang, seperti horizon buatan (*artificial horizon*), giroskopik

pengarah (directional gyro), dan giroskopik pusat (gyrocompass). Sistem giroskopik sangat penting dalam memberikan informasi akurat mengenai posisi dan orientasi pesawat dalam penerbangan.

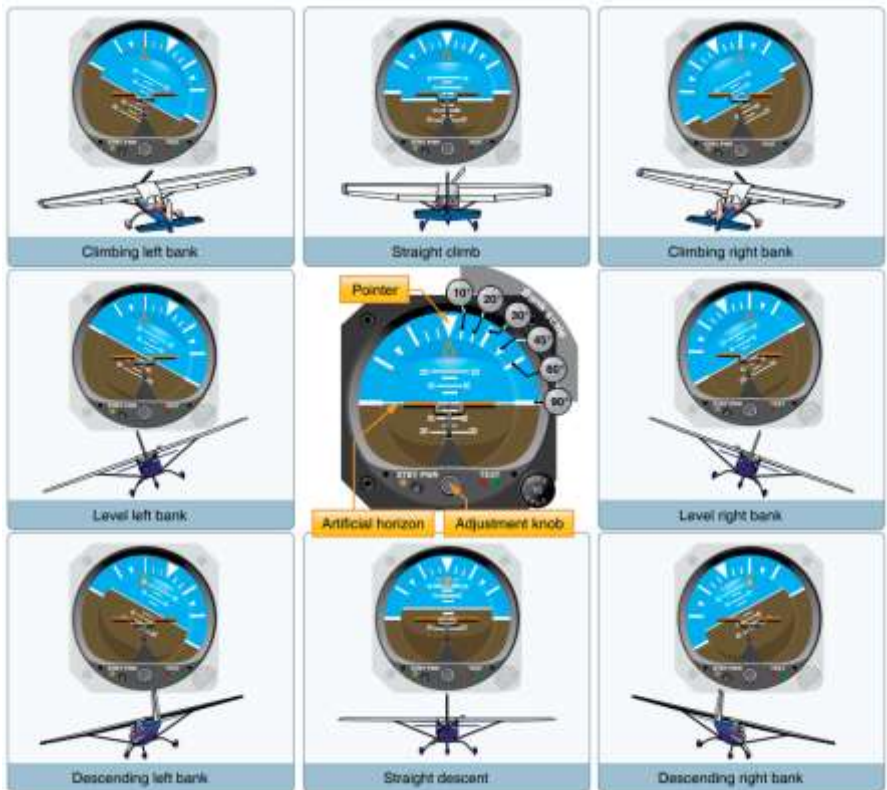


Gambar 2.84. Ilustrasi cara kerja sistem giroskopik pada pesawat

2.4.1 Attitude indicator

Attitude Indicator (AI), juga dikenal sebagai artificial horizon atau giroskopik artifisial, adalah instrumen penerbangan yang digunakan untuk menunjukkan orientasi dan kemiringan pesawat dalam tiga dimensi. Instrumen ini membantu pilot dalam mempertahankan kontrol visual terhadap horison saat pesawat terbang dalam kondisi cuaca buruk atau saat terbang di malam hari.

Attitude Indicator bekerja berdasarkan prinsip giroskopik. Terdapat sebuah giroskop yang sensitif terhadap perubahan posisi pesawat dalam tiga sumbu: *roll* (gerakan miring ke kiri atau kanan), *pitch* (gerakan miring ke atas atau bawah), dan *yaw* (gerakan berputar di sekitar sumbu vertikal). Giroskop ini mempertahankan orientasinya sendiri dalam ruang tiga dimensi, sehingga memberikan indikasi visual tentang posisi pesawat (Gambar 2.85).



Gambar 2.85. ilustrasi cara kerja attitude indicator terhadap berbagai posisi pesawat

Pada AI, indikasi visual berupa horizon buatan yang menampilkan representasi visual dari garis horison dan langit-langit. Ketika pesawat miring atau terbang dengan sudut kemiringan tertentu, indikator ini akan menunjukkan posisi relatif pesawat terhadap horizon buatan tersebut. Hal ini memungkinkan pilot untuk mempertahankan kontrol dan menyesuaikan orientasi pesawat dengan referensi visual yang diberikan oleh AI.

Attitude Indicator sangat penting dalam situasi di mana pandangan visual luar pesawat terbatas, seperti terbang di awan

atau cuaca buruk. Instrumen ini memberikan informasi yang kritis kepada pilot untuk menjaga pesawat dalam keadaan terkendali dan menghindari kesalahan atau kecelakaan yang disebabkan oleh hilangnya referensi visual eksternal.

2.4.2 Heading Indicator

Heading Indicator (HI) atau *Directional Gyro* (DG) adalah instrumen penerbangan yang digunakan untuk menunjukkan arah atau heading pesawat dalam penerbangan. Instrumen ini berfungsi sebagai pengganti atau suplemen kompas magnetik dalam memberikan informasi arah kepada pilot.

Heading Indicator bekerja berdasarkan prinsip giroskopik. Pada bagian dalam instrumen ini terdapat giroskop yang dapat berputar secara bebas di sekitar sumbu vertikal. Giroskop ini dipasang paralel dengan sumbu panjang pesawat (axis longitudinal), sehingga ketika pesawat berbelok atau berubah arah, giroskop akan tetap menjaga orientasinya.

Pada *Heading Indicator*, indikasi visual berupa garis atau penunjuk yang menunjukkan arah atau heading pesawat relatif terhadap kompas. *Heading Indicator* tidak dipengaruhi oleh faktor magnetis seperti kompas magnetik, sehingga lebih stabil dan akurat dalam memberikan informasi arah.

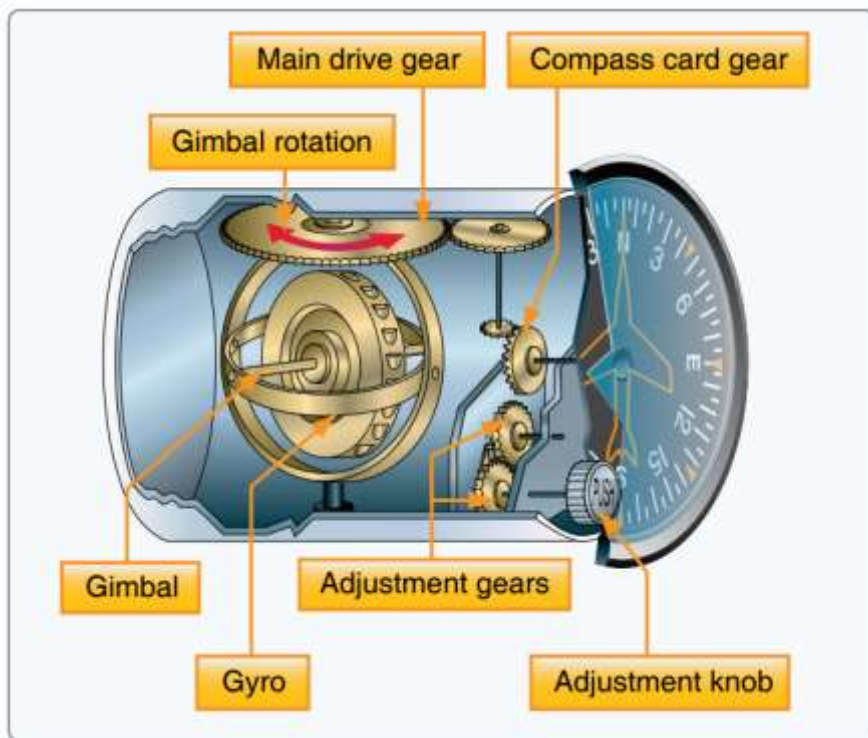
Namun, perlu diingat bahwa *Heading Indicator* cenderung mengalami drift atau perubahan ke arah tertentu seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu, instrumen ini perlu diatur ulang secara berkala dengan menggunakan referensi arah yang diberikan oleh kompas magnetik atau sistem navigasi lainnya.

Heading Indicator merupakan instrumen penting dalam navigasi pesawat terbang, terutama dalam penerbangan yang membutuhkan akurasi tinggi dalam mengikuti jalur penerbangan yang ditentukan. Instrumen ini membantu pilot dalam mempertahankan arah dan melakukan perubahan arah dengan

tepat, terutama dalam kondisi cuaca buruk atau saat terbang di area tanpa referensi visual luar yang jelas.



Gambar 2.86. Heading indicator tampak depan



Gambar 2.87. Heading indicator menampilkan arah berdasarkan azimut 360°, dengan angka nol terakhir dihilangkan. Sebagai contoh, "6" mewakili 060°, sedangkan "21" menunjukkan 210°. Tombol penyesuaian digunakan untuk menyelaraskan heading indicator dengan kompas

2.4.3 Turn and slip Indicator

Turn and Slip Indicator (Indikator Belok dan Slip) adalah salah satu instrumen penerbangan yang digunakan untuk memberikan informasi mengenai gerakan belok (*turn*) dan geser (*slip*) pesawat dalam sumbu roll. Instrumen ini membantu pilot dalam mempertahankan koordinasi penerbangan yang tepat dan menghindari terjadinya slippage atau skidding (Gambar 2.88).

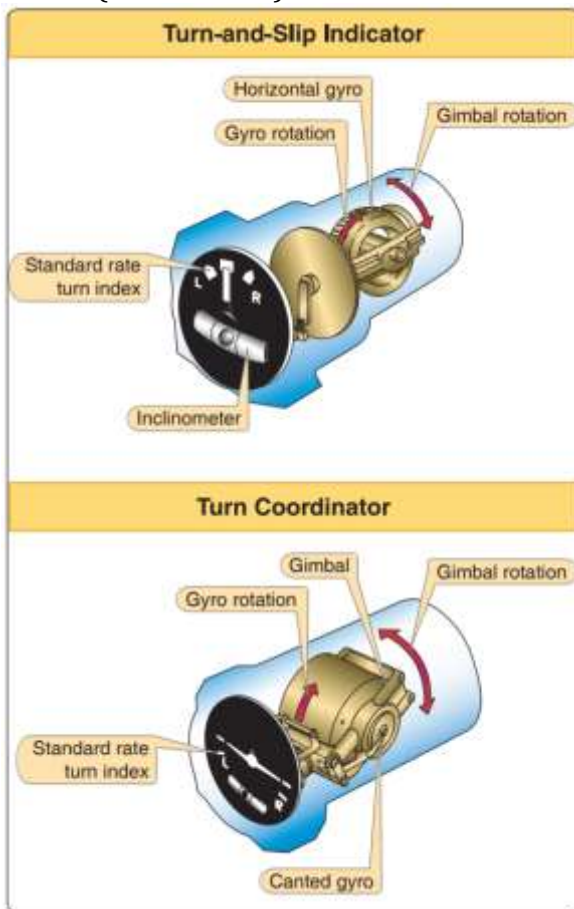


Gambar 2.88. Indikator belok dan geser tampak depan (Sumber: [U.S. Department of Transportation, 2012])

Turn and Slip Indicator bekerja dengan menggunakan sebuah giroskop yang sensitif terhadap gerakan belok pesawat dalam sumbu roll. Instrumen ini biasanya terdiri dari sebuah jarum indikator dan bola pusat (pendulum). Jarum indikator akan bergerak ketika pesawat melakukan belok, menunjukkan tingkat belok pesawat dalam satuan rate of turn, seperti degree per minute.

Bola pusat, yang biasanya berada di dalam sebuah kaca atau indikator, memberikan informasi mengenai adanya geser (slip) atau koordinasi penerbangan. Jika pesawat melakukan belok dengan koordinasi yang baik, bola akan berada di tengah, menunjukkan penerbangan yang seimbang. Namun, jika pesawat

mengalami slippage atau skidding, bola akan terdorong ke salah satu sisi indikator (Gambar 2.89).



Gambar 2.89. Bagian penyusun instrumen indikaator belok dan geser. (Sumber: [U.S. Department of Transportation, 2012])

Slippage terjadi ketika arah pesawat terlalu miring ke dalam tikungan, sedangkan skidding terjadi ketika arah pesawat terlalu miring ke luar tikungan. Dengan memperhatikan posisi bola pada

Turn and Slip Indicator, pilot dapat menyesuaikan kontrol pesawat untuk mempertahankan koordinasi yang baik dalam penerbangan.

Turn and Slip Indicator sangat penting dalam penerbangan, terutama saat melakukan manuver belok atau tikungan. Instrumen ini membantu pilot dalam menjaga keseimbangan dan koordinasi pesawat, sehingga memastikan penerbangan yang aman dan efisien.

2.5 Sistem Navigasi

Sistem navigasi pesawat adalah kumpulan instrumen, perangkat, dan teknologi yang digunakan untuk menentukan posisi, arah, dan navigasi pesawat dalam penerbangan. Sistem navigasi pesawat biasanya terdiri dari beberapa komponen yang bekerja bersama untuk memberikan informasi navigasi yang akurat kepada pilot. Berikut adalah beberapa komponen yang umumnya terdapat dalam sistem navigasi pesawat:

1. **Komputer Navigasi:** Komputer navigasi digunakan untuk menghitung dan memproses data navigasi, seperti perhitungan arah, jarak, waktu tempuh, dan informasi navigasi lainnya.
2. **Kompas Magnetik:** Kompas magnetik adalah instrumen dasar yang digunakan untuk menentukan arah utara. Kompas ini menggunakan medan magnetik bumi untuk menunjukkan arah relatif pesawat.
3. **Giroskop:** Giroskop adalah instrumen yang digunakan untuk menjaga orientasi dan stabilitas pesawat. Instrumen giroskopik seperti giroskopiki artifisial, giroskopiki pengarah, dan giroskopiki pusat memberikan informasi tentang orientasi pesawat dalam ruang tiga dimensi.
4. **Global Positioning System (GPS):** GPS adalah sistem satelit yang digunakan untuk menentukan posisi pesawat secara akurat menggunakan sinyal-sinyal satelit. GPS dapat

memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara real-time.

5. *Inertial Navigation System* (INS): INS adalah sistem navigasi yang menggunakan giroskop dan percepatan untuk mengukur perubahan posisi pesawat dari posisi awal. INS menghitung perubahan posisi secara kontinu dan memberikan informasi navigasi yang akurat, terutama saat terbang di wilayah yang jauh dari sinyal GPS.
6. *Radio Navigation*: Sistem navigasi radio, seperti VOR (*VHF Omnidirectional Range*) dan NDB (*Non-Directional Beacon*), digunakan untuk memberikan informasi navigasi berbasis radio kepada pilot. Sinyal radio dari stasiun navigasi ini membantu pilot dalam menentukan arah dan posisi pesawat.
7. *Flight Management System* (FMS): FMS adalah sistem komputer yang menggabungkan informasi dari berbagai sumber navigasi, termasuk GPS, INS, dan radio navigasi. FMS memungkinkan pilot untuk merencanakan rute penerbangan, mengatur pengaturan pesawat, dan mengontrol navigasi secara otomatis.

Selain komponen di atas, sistem navigasi pesawat juga dapat mencakup instrumen lain seperti altimeter, airspeed indicator, dan instrumentasi lainnya yang memberikan informasi penting tentang ketinggian, kecepatan, dan kondisi penerbangan. Dengan menggunakan kombinasi dari berbagai sistem navigasi ini, pilot dapat menjaga pesawat dalam penerbangan yang aman dan efisien.

2.6 Perkembangan Teknologi Era Digital

Flight Management System (FMS) telah mengalami perkembangan signifikan seiring dengan kemajuan teknologi penerbangan. Berikut adalah beberapa perkembangan utama dalam FMS [Boeing, 2023]:

1. Integrasi dengan *Global Positioning System* (GPS): FMS telah mengadopsi teknologi GPS secara luas. Dengan menggunakan sinyal GPS, FMS dapat memberikan informasi posisi yang lebih akurat dan memungkinkan perencanaan rute yang lebih efisien.
2. Peningkatan kemampuan navigasi: FMS modern memiliki kemampuan navigasi yang lebih canggih, seperti kemampuan untuk mengidentifikasi dan menghindari hambatan udara, mengoptimalkan rute untuk menghemat bahan bakar, dan menghadapi kondisi cuaca yang buruk.
3. Komunikasi Data Link: FMS dapat terhubung dengan sistem komunikasi data link, seperti ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*), yang memungkinkan pertukaran informasi antara pesawat dan otoritas penerbangan secara langsung. Hal ini mempercepat pertukaran data navigasi dan memberikan kemampuan untuk menerima pembaruan rute dan informasi penting lainnya.
4. Automasi lebih lanjut: FMS telah mengalami peningkatan dalam otomasi penerbangan. FMS modern dapat mengendalikan banyak aspek penerbangan, termasuk navigasi, perencanaan rute, pengaturan ketinggian, dan manuver pesawat lainnya. Ini membantu pilot dalam mengelola penerbangan dengan lebih efisien.
5. Antarmuka pengguna yang lebih baik: FMS telah mengalami peningkatan dalam hal antarmuka pengguna (*user interface*). Antarmuka yang lebih intuitif dan mudah

digunakan memungkinkan pilot untuk berinteraksi dengan sistem dengan lebih efektif dan efisien (Gambar 2.90).



Gambar 2.90. Antar muka digital dan multi fungsi yang saat ini banyak digunakan di pesawat(Sumber: [U.S. Department of Transportation, 2012])

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. D. 2001. *Introduction to flight*. McGraw-Hill Education.
- Boeing. 2023, 5 6. *Boeing Flight management system*. Diambil kembali dari Boeing: <https://services.boeing.com/maintenance-engineering/modifications/avionics/boeing-flight-management-system>
- Croucher, P. 2007. *JAR Professional Pilot Studies*. Electrocuton Technical Publishers.
- De Remer, M. P. 1994. *Aircraft Systems: Understanding Your Airplane*. Tab Books.
- Enggar. 2005. *Fisika*. Surabaya: Abikawa.
- Kermode, A. C. 2013. *Mechanics of Flight*. Pearson Education Limited.
- Tipler, P. A. 2008. *Physics for scientists and engineers*. W. H. Freeman and Company.
- U.S. Department of Transportation. 2012. *Instrument Flying Handbook*. Oklahoma City: United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airman.
- U.S. Department of Transportation. 2016. *The Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION Flight Standards Service.

BAB 3

GAYA ANGKAT PADA PESAWAT TERBANG

Oleh Ni Putu Yuni Nurmallasari

3.1 Apa itu gaya angkat (*lift*)?

Sebelum membahas lebih lanjut tentang gaya angkat atau *lift*, terlebih dahulu akan dibahas tentang gaya-gaya apa saja yang bekerja pada pesawat terbang dalam keadaan *steady* atau tidak sedang mengalami percepatan (*constant altitude*). Secara total terdapat empat gaya yang bekerja saat pesawat sedang terbang, yaitu:

1. Gaya angkat (*lift*),
2. Gaya berat (*weight*)/gaya gravitasi,
3. Gaya dorong (*thrust*), dan
4. Gaya hambat (*drag*)/gaya gesek

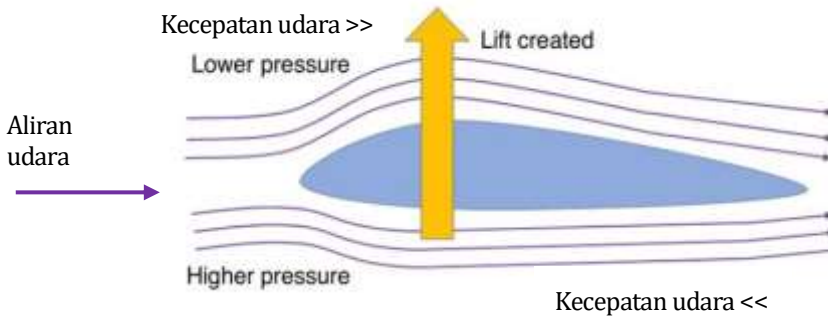
Ilustrasi dari masing-masing gaya disajikan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Gaya-gaya yang bekerja pada pesawat terbang
(Sumber : Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2016)

Sangat penting bagi seorang pilot dan insinyur dalam bidang penerbangan untuk dapat memahami bagaimana gaya-gaya tersebut bekerja dan bagaimana cara mengendalikannya (kontrol) selama pesawat bermanuver.

Secara fisis, pesawat yang sedang mengudara dapat kita tinjau sebagai suatu sistem aerodinamika, dimana pesawat sebagai objek memiliki interaksi dengan udara (fluida). Fokus utama pada studi aerodinamika adalah fluida yang selalu bergerak (Anderson, John D. Jr., 2016). Gaya angkat (*lift*) pada pesawat dihasilkan oleh sayap pesawat. Desain khusus untuk sayap pesawat disebut dengan istilah *aerofoil* atau *airfoil*. Desain *airfoil* memiliki sifat aerodinamis. Sifat aerodinamis inilah yang nantinya akan berkontribusi pada kestabilan dan efektivitas pesawat saat terbang. Desain *airfoil* memiliki bentuk melengkung di bagian atas dan datar atau sedikit melengkung di bagian bawah. Ketika pesawat bergerak melalui udara, kecepatan aliran udara di atas sayap lebih tinggi daripada di bawah sayap. Ilustrasi bentuk *airfoil* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2. Ilustrasi desain *airfoil*
(Sumber : Yu Shi dan Yu Jia, 2018)

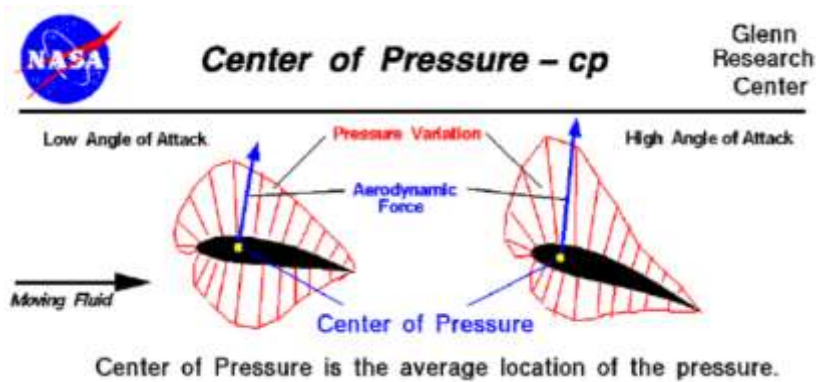
Secara singkat bisa kita katakan bahwa gaya angkat dihasilkan oleh efek aerodinamis udara yang bekerja pada *airfoil* pesawat.

Gaya berat (*weight*) berlawanan arah dengan gaya angkat (*lift*) dan bekerja secara vertikal ke bawah melalui pusat gravitasi pesawat.

Gaya berat (*weight*) muncul sebagai konsekuensi berat beban rangkaian pesawat, tambahan dari jumlah penumpang dan kru pesawat, bahan bakar, serta bagasi maupun kargo bawaan. Gaya gravitasi bumi menarik seluruh beban total pesawat ke arah bawah.

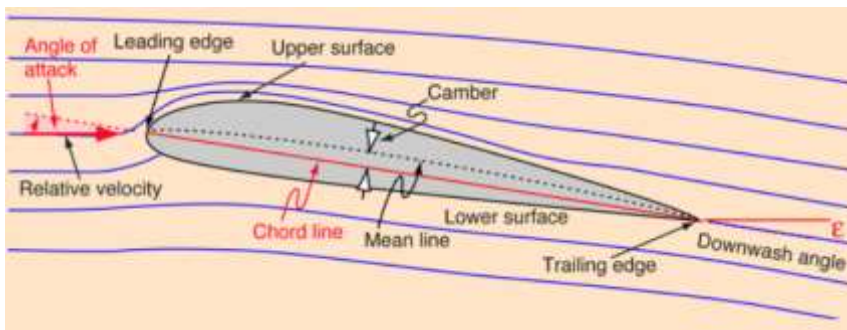
Selain itu, sayap pesawat juga menghasilkan gaya hambat (*drag*) dan gaya dorong (*thrust*). Gaya dorong dihasilkan oleh mesin pesawat, sementara gaya hambat merupakan hasil dari tahanan/gesekan udara dengan badan pesawat saat pesawat sedang melaju. Untuk dapat terbang secara stabil dan seimbang, pesawat harus menghasilkan gaya dorong yang sebanding dengan gaya hambat dan gaya angkat yang sebanding dengan gaya berat atau gravitasi.

Dalam prakteknya, gaya angkat pada pesawat dapat lebih efektif jika gaya tersebut bekerja pada titik *Center of Pressure* (CoP) pada pesawat terbang. Titik CoP adalah titik di sayap atau permukaan angkat lainnya di mana gaya angkat yang dihasilkan oleh aliran udara secara optimal bekerja. CoP merupakan titik di mana tekanan aerodinamis yang dihasilkan oleh sayap atau permukaan angkat lainnya dianggap "terkonsentrasi".



Gambar 3.3. Variasi tekanan pada tiap permukaan badan pesawat
(Sumber : NASA-Glenn Research Center,
<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/cp.html>, diakses 04 Juni 2023)

Pada umumnya, CoP berada di sepanjang *chord line* (garis yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge* sayap) dan dapat bergerak ke depan atau ke belakang tergantung pada *angle of attack* sayap atau konfigurasi pesawat.



Gambar 3.4. Terminologi airfoil
(Sumber : Hyperphysics-Georgia State University,
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Fluids/airfoil.html>, diakses 04 Juni 2023)

Beberapa faktor yang mempengaruhi lokasi CoP pada pesawat terbang meliputi:

1. Angle of Attack Sayap: Saat *angle of attack* sayap berubah, lokasi CoP juga dapat berubah. Pada *angle of attack* yang lebih kecil, CoP cenderung berada lebih dekat dengan *leading edge* sayap, sedangkan pada *angle of attack* yang lebih besar, CoP cenderung berada lebih jauh ke belakang.



Gambar 3.5. Ilustrasi variasi nilai angle of attack pesawat terhadap kecepatan. (Sumber : Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2016)

2. Desain Sayap: Bentuk sayap dan profil aerodinamisnya dapat mempengaruhi lokasi CoP. Misalnya, sayap dengan bentuk yang lebih melengkung (*cambered*) cenderung memiliki CoP yang bergerak ke belakang lebih cepat dengan peningkatan *angle of attack* dibandingkan dengan sayap datar (*flat*).
3. Konfigurasi Pesawat: Komponen tambahan seperti *flap* atau *spoiler* yang dapat diatur pada sayap juga dapat mempengaruhi lokasi CoP.

Penting untuk memperhatikan lokasi CoP dalam desain pesawat terbang karena perubahan posisi CoP dapat mempengaruhi stabilitas longitudinal pesawat. Jika CoP berada

terlalu jauh ke belakang, pesawat cenderung menjadi tidak stabil dan sulit dikendalikan.

3.2 Teori terkait gaya angkat pada pesawat terbang

Sampai saat ini, masih banyak diperdebatkan mengenai teori atau konsep manakah yang terbaik untuk menjelaskan bagaimana pesawat mendapatkan gaya angkat untuk dapat terbang dan tetap melayang di udara. Para akademisi, insinyur, pilot, otoritas penerbangan, produsen pesawat terbang, dan pakar lainnya (contohnya: NASA) mempromosikan setidaknya ada beberapa teori berbeda terkait penerbangan. Perdebatan ini terbagi secara general antara “Mekanika Newtonian”, “Mekanika Fluida”, serta pendekatan alternatif lainnya (Landell-Mills, Nicholas., 2019). Teori-teori tersebut yaitu:

1) Rumus empiris untuk gaya angkat (*lift*)

$$\begin{aligned} \text{Gaya angkat (lift)} &= 0.5 * (\text{Kecepatan pesawat})^2 * \\ &\text{Area sayap} * \text{Densitas udara} * \\ &\text{Koefisien gaya angkat} \end{aligned} \quad (1)$$

Rumus tersebut diturunkan besarkan teori mekanika Newton untuk mencari besaran nilai gaya angkat dan gaya berat. Untuk mencari gaya berat, satuan yang terlibat adalah massa udara (m) yang dipercepat (a) ke bawah ($F \text{ weight} = m a$). Kelembaman udara memungkinkan dihasilkannya gaya ke atas (gaya angkat). Agar dicapai kondisi stabil, $\text{gaya berat} = \text{gaya angkat} = m a$. (2)

Semua parameter persamaan empiris untuk daya angkat (yaitu kecepatan pesawat, densitas udara, luas sayap, dan koefisien gaya angkat) mempengaruhi massa udara yang diterbangkan (m) dan/atau kecepatan udara yang

dipercepat ke bawah (a). Oleh karena itu, dimungkinkan untuk menggunakan Mekanika Newton untuk menjelaskan persamaan empiris untuk gaya angkat.

- 2) Teori momentum berdasarkan Mekanika Newton (Prinsip Aksi-Reaksi). Teori momentum dalam konteks pesawat terbang terkait dengan pembelokan aliran udara ke arah bawah untuk menghasilkan gaya angkat pada pesawat terbang. Konsep ini dikenal sebagai prinsip aksi-reaksi. Menurut Mekanika Newton, setiap tindakan memiliki reaksi yang sebanding dan berlawanan arah. Ketika sayap atau *airfoil* membelokkan aliran udara ke bawah, sayap juga akan mengalami reaksi berupa gaya angkat yang berlawanan arah. Parameter fisis yang terlibat adalah massa udara yang diterbangkan (m) dan kecepatan udara (v). $Gaya\ berat = gaya\ angkat = m a = \frac{d(mv)}{dt}$ (3)

- 3) Teori laju aliran massa dalam Mekanika Newton. Sayap terbang dan memindahkan massa udara yang terdorong ke bawah setiap detik (m/dt), yang dipercepat ke kecepatan (dv) untuk menciptakan gaya ke bawah ($Gaya = ma = m/dt * dv$) yang nilainya akan sama dengan gaya angkat. $Gaya\ berat = gaya\ angkat = m a = \left(\frac{m}{dt}\right) * dv$ (4)

- 4) Prinsip Bernoulli-Dinamika Fluida. Menurut prinsip Bernoulli, ketika kecepatan aliran udara meningkat, tekanan udara menurun. Oleh karena itu, tekanan di atas sayap lebih rendah daripada di bawah sayap. Perbedaan tekanan antara atas dan bawah sayap menciptakan gaya angkat.

- 5) Efek Venturi. Efek Venturi mengacu pada fenomena di mana kecepatan aliran fluida meningkat saat melewati suatu konstruksi dalam saluran aliran. Hal ini terjadi karena adanya perubahan penampang yang menghasilkan perubahan kecepatan aliran dan tekanan. Prinsip dasar Efek Venturi adalah sebagai berikut:
- a. Konstriksi: Ketika fluida atau udara mengalir melalui saluran dengan penampang yang menyempit, kecepatan aliran meningkat.
 - b. Perubahan tekanan: Sesuai dengan Hukum Bernoulli, ketika kecepatan aliran meningkat, tekanan statis dalam fluida akan menurun. Hal ini berarti tekanan di daerah yang menyempit (konstriksi) akan lebih rendah daripada di daerah yang lebih luas.
- 6) Teori Euler dan Navier-Stokes. Persamaan Euler dan Navier-Stokes menjelaskan bagaimana aliran udara di bagian atas sayap menciptakan tekanan rendah yang cukup untuk menyedot pesawat ke atas.
- 7) Teori perbedaan tekanan udara. Tekanan tinggi di bawah sayap dan tekanan rendah di atas sayap memungkinkan sayap terdorong ke atas.
- 8) Efek Kutta atau efek Kutta-Zhukovsky. Efek Kutta atau Efek Kutta-Zhukovsky adalah fenomena dalam aerodinamika yang menjelaskan bagaimana aliran udara di sekitar sayap pesawat terbang membentuk sirkulasi untuk menghindari adanya singularity atau kerucut pada ujung belakang sayap. Fenomena ini berhubungan dengan perubahan tekanan dan kecepatan aliran udara di sekitar sayap pesawat. Secara umum, Efek Kutta menyatakan bahwa udara yang mengalir di atas dan di bawah sayap akan

bertemu di ujung belakang sayap. Untuk menghindari terjadinya kerucut di ujung belakang sayap, aliran udara di atas sayap harus "terputus" atau membentuk pola aliran berputar. Pola aliran berputar ini dikenal sebagai sirkulasi.

Efek Kutta-Zhukovsky menjelaskan bahwa sirkulasi ini menghasilkan perbedaan tekanan antara atas dan bawah sayap, yang pada gilirannya menciptakan gaya angkat pada sayap pesawat terbang. Pola aliran berputar ini memberikan kontribusi terhadap pembentukan gaya angkat yang diperlukan untuk menjaga pesawat terbang tetap terangkat di udara.

9) Teori sirkulasi udara di sekitar sayap.

10) Vortisitas atau *the Prandtl lifting-line theory* yang menarik pesawat ke atas.

11) Efek Coandă. Efek Coandă adalah fenomena dalam aerodinamika di mana aliran fluida mengikuti permukaan lengkung yang berdekatan, menghasilkan perubahan arah aliran dari yang semula diharapkan secara intuitif.

Efek Coandă terjadi ketika aliran fluida, baik berupa udara atau cairan, mengalir di sepanjang permukaan lengkung yang berdekatan. Daripada melanjutkan alirannya secara lurus, aliran fluida akan "menempel" pada permukaan lengkung dan mengubah arahnya mengikuti kontur permukaan. Dalam banyak kasus, efek ini menghasilkan aliran yang terdorong ke arah permukaan dan mengikuti lengkungan tersebut.

Penting untuk dicatat bahwa Efek Coandă mempengaruhi aliran fluida di sekitar permukaan lengkung dan dapat digunakan untuk mengarahkan aliran. Dalam aplikasi aerodinamika, ini bisa dimanfaatkan untuk mengendalikan arah aliran udara. Contohnya adalah pada alat-alat seperti *nozzle* Coandă dan *flap* Coandă yang digunakan dalam industri penerbangan. Dalam kasus *nozzle* Coandă, udara yang mengalir keluar dari *nozzle* akan melekat pada permukaan lengkung dan mengubah arah alirannya, menghasilkan pengaruh aerodinamis yang diinginkan.

- 12) Efek Magnus. Efek Magnus adalah fenomena dalam aerodinamika yang terjadi ketika objek berputar di dalam aliran fluida, seperti udara atau air. Efek ini menyebabkan timbulnya gaya angkat atau gaya hambat pada objek tersebut, tergantung pada arah rotasi. Fenomena ini penting dalam banyak aplikasi, misalnya pada baling-baling pesawat.

Prinsip dasar Efek Magnus adalah sebagai berikut:

- a. Aliran Fluida Terbelah: Ketika objek berputar dalam aliran fluida, seperti bola sepak, aliran fluida terbelah di sekitar objek. Bagian atas aliran terjadi dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada bagian bawahnya.
- b. Perbedaan Kecepatan: Perbedaan kecepatan ini menyebabkan perbedaan tekanan di sekitar objek. Pada bagian atas aliran yang lebih cepat, tekanan berkurang, sementara pada bagian bawah aliran yang lebih lambat, tekanan meningkat.
- c. Gaya Angkat atau Gaya Hambat: Perbedaan tekanan ini menghasilkan gaya angkat atau gaya hambat pada objek, tergantung pada arah rotasi. Jika objek berputar searah jarum jam (dari perspektif pengamat di belakang objek),

gaya angkat akan timbul. Sebaliknya, jika objek berputar berlawanan arah jarum jam, gaya hambat yang timbul.

Jika pertanyaannya adalah "Mana yang benar secara fisika?" maka jawabannya teori-teori di atas adalah benar. Keduanya didasarkan pada prinsip-prinsip fisika yang valid baik secara general masuk ke dalam konsep Mekanika Newton dan Dinamika Fluida.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, John D. Jr. 2017. *Introduction to Flight (Eight Edition)*. McGraw-Hill Education.
- Federal Aviation Administration (FAA). 2016. *The Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge*. Oklahoma City: United States Department of Transportation-Airman Testing Standards Branch.
- Hyperphysics-Georgia State University, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Fluids/airfoil.html>, diakses 04 Juni 2023.
- Landell-Mills, N. 2019. *How airplanes generate lift is disputed*. Pre-Print DOI: 10.13140/RG.2.2.34380.36487.
- Landell-Mills, N. 2016. *Newton explains lift; Buoyancy explains flight*. Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering. 05. 10.4172/2168-9792.1000179.
- Landell-Mills, N. 2019. Why lift quadruples if aircraft velocity doubles. Pre-Print DOI: 10.13140/RG.2.2.20536.70409.
- NASA-Glenn Research Center, <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/cp.html>, diakses 04 Juni 2023.
- Yu Shi dan Yu Jia. 2018. *Multimodal Shear Wave Deicing Using Fibre Piezoelectric Actuator on Composite for Aircraft Wings*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics PP(99):1-1

BAB 4

ANGLE OF ATTACK

Oleh Aminatus Sa'diyah

4.1 Pendahuluan

Parameter utama dalam dunia penerbangan salah satunya adalah *Angle of Attack* (AoA) atau lebih dikenal dengan istilah "sudut serang". Merupakan satuan derajat antara aliran udara di bagian bawah dan sayap pesawat, jika nilai AoA terlalu tinggi, maka sebuah pesawat dapat kehilangan daya angkat (*lift*)-nya atau biasa disebut sebagai "*stall*". *Angle of Attack* berfungsi sebagai pemandu.

Gaya-gaya yang terdapat dalam dunia penerbangan diantaranya adalah *weight*, *thrust*, *lift* dan *drag*. Gaya ini bekerja pada saat kondisi pesawat terbang lurus dan mendarat dengan kecepatan konstan. Selain itu juga terdapat gaya hambatan berupa *profile drag* yang terdiri dari *form drag* dan *skin friction drag*, gaya hambat ini dapat mempengaruhi profil aerodinamika dalam pesawat terutama sudut serang saat terbang.

4.2 Gaya dalam pesawat

Gaya utama yang terdapat dalam pesawat pada saat terbang dengan kondisi lurus dan datar (*straight and level flight*) adalah *weight* atau biasa disebut gaya berat (W), merupakan gaya yang didapat dari hasil penjumlahan berat pesawat dan berat muatan pesawat. Gaya ini merupakan sebuah vector dengan arah vertical ke bawah melalui titik *center of gravity* dari pesawat. *Thrust* merupakan suatu gaya dorong (T) yang dihasilkan oleh *powerplant*. Gaya ini memiliki arah berlawanan dengan gaya hambat, secara umum gaya ini memiliki operasi parallel dengan longitudinal.

Lift lebih dikenal sebagai gaya angkat (L), yaitu gaya yang dihasilkan oleh adanya suatu efek dinamis dari udara, tegak lurus relative terhadap angin melalui titik *center of pressure* dari sayap pesawat. Sedangkan drag atau gaya hambat (D) merupakan gaya menuju belakang, disebabkan oleh adanya gangguan aliran udara akibat sayap, *fuselage* dan objek lain. Drag memiliki sifat berkebalikan dengan *thrust* dan bergerak ke arah belakang parallel terhadap arah angin relative (*relative wind*).

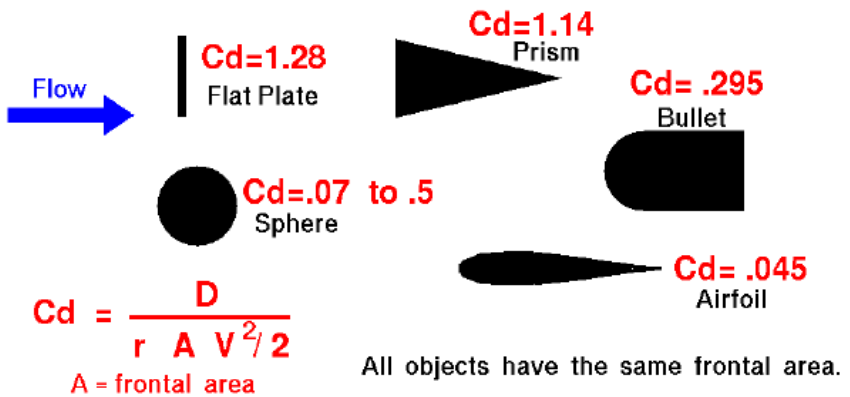


Gambar 4.1. Gaya pada pesawat
Sumber : (ITDA, 2022)

4.3 Gaya hambat

4.3.1 Profile drag

Gaya hambat yang disebabkan oleh benda padat dalam medium fluida disebut profile drag. Dalam klasifikasi hambatan profile drag terbagi menjadi *form drag* dan *skin friction drag*. *Form drag* merupakan gaya hambat yang ditimbulkan akibat bentuk geometri dari suatu benda. Gaya hambat ini dapat dikurangi dengan modifikasi pada geometri benda mendekati prinsip aerodinamis.



Gambar 4.2. Efek bentuk pada drag
Sumber : (Benson, 2020)

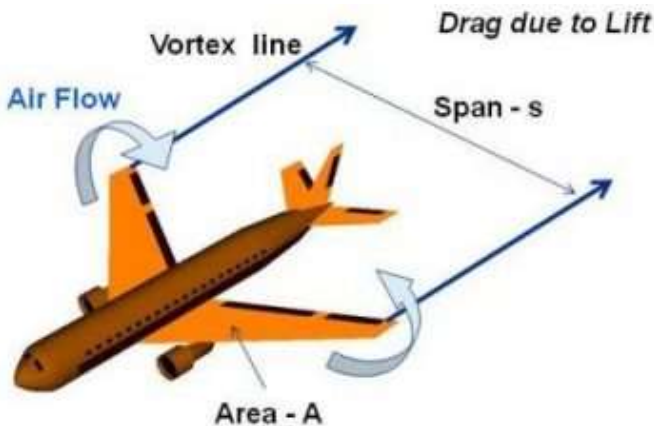
Skin friction drag merupakan gaya hambat selain form *drag*, yang diakibatkan oleh gesekan antar aliran udara dengan permukaan benda atau skin. Semakin jauh dari permukaan, maka molekul udara akan bergerak lebih cepat sehingga kecepatannya akan sama dengan kecepatan aliran udara relative. Hal ini disebabkan karena ketika aliran udara melewati suatu objek, molekul udara yang berdekatan dengan permukaan akan saling bergesekan dan bergerak secara konstan. Pada pesawat terbang, *profile drag* bernilai relative kecil sehingga tidak begitu berpengaruh pada utilitas penerbangan, namun dalam analisis aerodinamika tetap diperhitungkan sebagai gaya hambat.

4.3.2 *Induce drag*

Berbeda dengan *profile drag*, Gaya hambat yang disebabkan oleh adanya imbasan terhadap lift atau gaya angkat. Gaya hambat *induced drag* memiliki pengaruh sangat besar terhadap proses penerbangan sehingga banyak penelitian yang membahas

mengenai gaya hambat ini dengan harapan dapat mengurangi terjadinya *induced drag*.

Pada saat sayap pesawat terbang, udara pada bagian *lower surface* menjadi bertekanan tinggi, sebaliknya udara bertekanan rendah memenuhi upper surface. Beda tekanan ini menyebabkan terjadinya leak atau kebocoran pada tip sehingga membentuk suatu aliran udara melingkar yang disebut *wingtip vortex*. Pada *trailing edge sayap*, *wingtip vortex* tersebut akan mengarah ke bawah, peristiwa ini disebut *down wash*. *Down wash* akan memberikan efek adanya pergeseran sudut serang (*angle of attack*).



Gambar 4.3. Induced drag

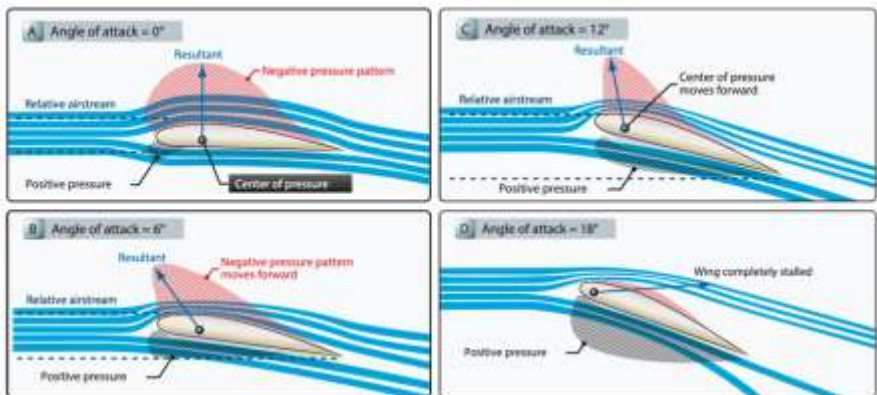
Sumber : (NASA, 2022)

4.4 Sudut Serang

Sudut serang atau biasa disebut *angle of attack* merupakan sudut yang terbentuk antara arah terbang (*relative wind*) dengan perpanjangan garis tali busur airfoil. Jika sudut serang diperbesar, maka gaya angkat dan gaya hambat yang dihasilkan akan semakin besar. Dalam dunia penerbangan, perubahan berupa penambahan gaya hambat yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pesawat

kehilangan daya angkatnya secara mendadak, atau sering disebut "stall". (Hutasuhut, 2005)

Sudut serang erat kaitannya dengan *chord* dan *center of pressure* atau pusat tekanan. *Chord* merupakan bagian dari airfoil berupa garis lurus khayal yang melewati *leading edge* ke *trailing edge*. *Chord line* menyediakan satu sisi sudut yang membentuk sudut serang. Sisi sudut yang lain dibentuk oleh garis yang menunjukkan arah aliran udara. Seringkali sudut serang disalahartikan sebagai sudut pemasangan, hal ini jelas berbeda karena *angle of incidence* merupakan sudut yang dibentuk antara garis *chord* dengan sumbu longitudinal pesawat.



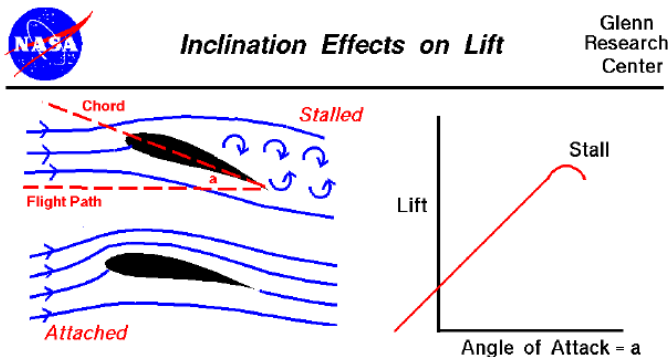
Gambar 4.3. Pengaruh perubahan sudut serang

Sumber : (FAA, Aviation Maintenance Technician Handbook—
Airframe, 2018)

Titik pusat perpotongan garis gaya resultan dengan garis *chord* dari airfoil disebut sebagai pusat tekanan (*center of pressure*, CoP). CoP bergerak sepanjang *chord* airfoil akibat adanya perubahan sudut serang, CoP juga dapat menyebabkan nilai sudut serang mengalami peningkatan jika bergerak maju. Sebaliknya, jika

CoP bergerak ke belakang maka nilai sudut serang akan mengalami penurunan. (Maruli Tua, 2022)

Saat sudut serang dinaikkan bertahap menuju sudut serang positif, komponen gaya angkat (*lift*) meningkat pesat hingga mencapai suatu titik tertentu, dan perlahan akan turun. Selama proses ini, gaya hambat (*drag*) akan meningkat perlahan dan gaya angkat mulai turun secara spontan.



For small angles, lift is related to angle.

Greater Angle = Greater Lift

For larger angles, the lift relation is complex.

Included in Lift Coefficient

Gambar 4.4. Pengaruh sudut serang terhadap gaya angkat

Sumber : (Benson, Inclination Effects on Lift, 2022)

Penjelasan lebih lanjut mengenai sudut serang yakni pada saat sayap bergerak di udara. Pada kondisi ini airfoil miring ke arah penerbangan dengan sudut tertentu. Sudut serang memiliki pengaruh besar terhadap gaya angkat (*lift*) yang dihasilkan oleh pesawat. Saat pesawat take off, pilot menetapkan sebuah nilai gaya dorong agar pesawat dapat melaju sesuai lintasannya. Sesaat sebelum lepas landas, pilot mengubah arah kemudi pesawat sehingga menyebabkan hidung pesawat naik dan menaikkan nilai

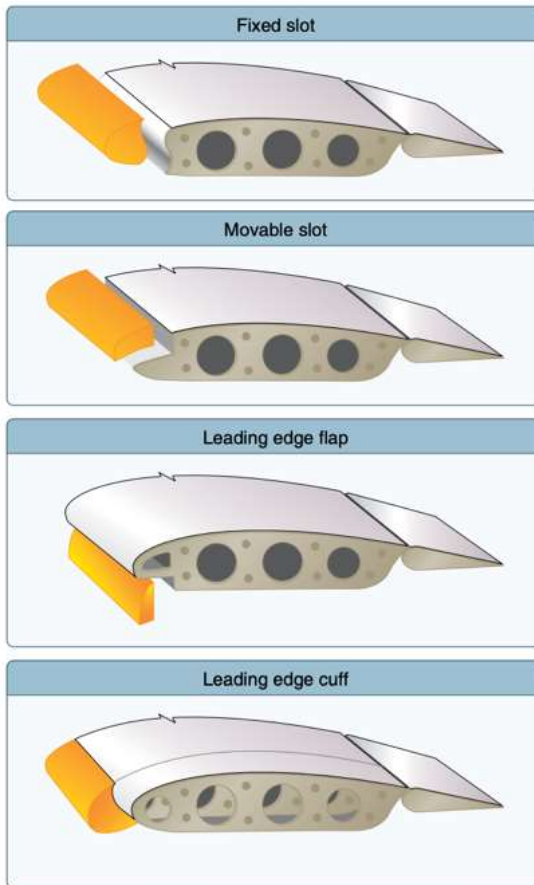
sudut serang sehingga hal ini meningkatkan gaya dorong yang menyebabkan pesawat dapat naik ke atas (terbang).

Pada saat pesawat terbang secara lurus dan datar, maka semua gaya yang bekerja pada pesawat bernilai seimbang. Jika gaya ini terganggu maka pesawat akan mengalami gangguan keseimbangan. Supaya keseimbangan pesawat stabil, maka pilot harus menjaga supaya besar sudut serang dan kekuatan propulsi pesawat tidak berubah signifikan.

Jika putaran mesin berkurang, maka gaya dorong juga ikut berkurang sehingga menyebabkan pesawat kekurangan ketinggian. Untuk menaikkan pesawat ke kondisi semula, maka seorang pilot harus mengatur putaran mesin agar menghasilkan gaya dorong yang lebih atau menaikkan sudut serang, namun hal ini dapat menurunkan nilai kecepatan terbang pesawat.

Pada saat take off, gaya angkat (*lift*) yang dibutuhkan pesawat mencapai angka maksimum. Maka pilot mengatur nilai sudut serang tidak terlalu besar untuk memaksimalkan gaya dorong dan menghindari gaya hambat yang terlalu besar. Sebaliknya pada saat landing atau mendarat, pesawat diatur dengan kecepatan yang relatif lebih rendah sehingga kondisi sayap pesawat harus mampu menghasilkan gaya angkat yang besar untuk mengimbangi gaya berat pesawat.

Pengoperasian sudut serang dapat dilakukan dengan mengatur suatu komponen yang disebut "*slat*" dan "*flap*". Slat adalah suatu permukaan aerodinamik yang terletak pada *leading edge* sayap pesawat. Fungsi dari slat adalah untuk menaikkan nilai sudut serang hingga mencapai nilai maksimum.



Gambar 4.5. Jenis-jenis perangkat *leading edge*
 Sumber : (FAA, 2022)

4.5 Penelitian Angle of Attack

Penelitian tentang sudut serang telah banyak mengalami perkembangan, diantaranya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Penelitian tentang sudut serang

No.	Judul	Penulis	Tahun
1	Analisa Pengaruh Sudut Serang Hidrofoil Terhadap Gaya Angkat Kapal Trimaran Hidrofoil	Aji Suryadi	2016
2	Pengaruh Sudut Serang Aerofoil Terhadap Distribusi Tekanan dan Gaya Angkat	Heri Wibowo	2017
3	Pengaruh Sudut Serang Terhadap Kinerja Turbin Angin Heliks Gorlov Dengan Penambahan Curveplate	Muhammad Faadhil, Karnowo, Samsudin Anis	2018
4	Visualisasi Pengaruh Sudut Serang Dan Kecepatan Aliran Udara Terhadap Stall Airfoil Naca 2415 Dan Naca 4424	Muhamad Royan Al Faris, Tabah Priangkoso, Darmanto	2020
5	Analisis Pengaruh Modifikasi Geometri dan Sudut Serang terhadap Performa Airfoil NACA 1408 Menggunakan Computational Fluid Dynamic (CFD)	Usin	2022

DAFTAR PUSTAKA

- ITDA, A. 2022, September 16. *Konsep Aerodinamika Pesawat yang Penggemar Penerbangan Wajib Tahu*. Retrieved from Konsep Aerodinamika: <https://www.itda.ac.id/portal/blog/detail/585/konsep-aerodinamika-pesawat-yang-penggemar-penerbangan-wajib-tahu>
- Benson, T. 2020, October 6. *Shape Effects on Drag*. Retrieved from Beginner's Guide to Aeronautics: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/shaped.html>
- NASA. 2022, July 28. *Induced Drag Coefficient*. Retrieved from Glenn Research Center, NASA: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/induced-drag-coefficient/>
- Hutasuhut, M. Y. 2005. *Mengenal Dunia Penerbangan*. (D. Sardjadi, Ed.) Jakarta: Grasindo.
- Benson, T. 2022. *Inclination Effects on Lift*. Retrieved from Airplane: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/VirtualAero/BottleRocket/airplane/incline.html#:~:text=The%20angle%20between%20the%20chord,airplane%20roll%20along%20the%20runway.>
- FAA. 2022. *Flight Controls*. Retrieved from FAA: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/08_phak_ch6.pdf
- FAA. 2018. *Aviation Maintenance Technician Handbook—Airframe*. US: U.S. Department of Transportation FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION.
- Maruli Tua, A. G. 2022. *Dasar-Dasar Teknik Pesawat Udara*. Jakarta: Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan dan Pusat Perbukuan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

BAB 5

APLIKASI HUKUM NEWTON-III

Oleh Sutiyono

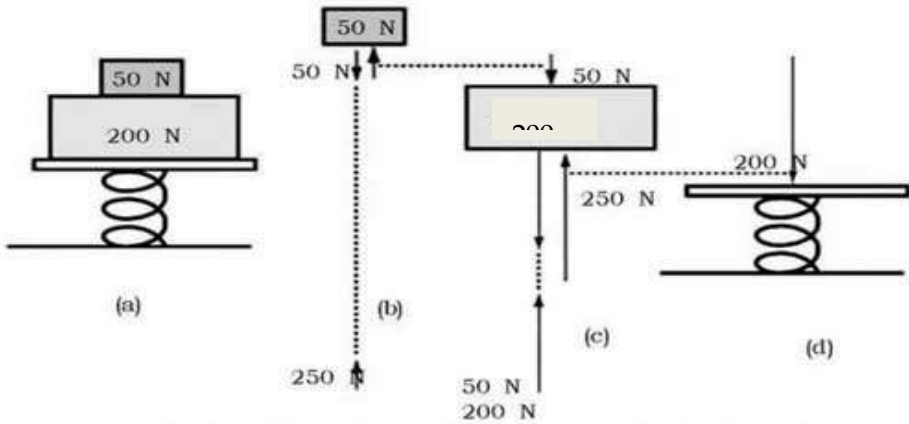
5.1 Pendahuluan

Semua benda yang dapat dikenai gaya atau semua makhluk hidup yang ada di bumi pasti bergerak. Benda dikatakan bergerak apabila terjadi perubahan posisi dari benda tersebut dari tempat semula. Hukum-hukum yang mempelajari tentang gerak diantaranya Hukum Newton III.

Hukum Newton III disebut juga dengan hukum aksi – reaksi dikarenakan dalam hukum III Newton mempelajari tentang interaksi dari dua buah benda yang diberikan suatu gaya. Bunyi hukum Newton III “Ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama” $F_{\text{aksi}} = -F_{\text{reaksi}}$. Tanda – (negatif) menunjukkan arah yang berlawanan dengan gaya aksi. Contoh sederhana dari hukum Newton III, pada saat kita mendorong sebuah meja. Bentuk tangan kita tentu berubah, ini merupakan bukti bahwa ada gaya yang bekerja pada tangan kita. Semakin kuat mendorong meja maka meja tersebut akan semakin kuat pula meja tersebut mendorong balik. Untuk setiap gaya aksi yang dilakukan akan selalu ada gaya reaksi yang besarnya sama akan tetapi arahnya berlawanan.

Dalam hukum Newton III inipun menegaskan bahwa di alam semesta ini tentunya tidak ada gaya yang timbul sendiri tanpa adanya gaya lain yang bekerjanya secara berlawanan. Jadi apabila sebuah gaya diberikan pada benda (gaya aksi) maka benda tersebut akan bereaksi atau merespon gaya yang diberikan oleh benda tersebut akan tetapi dengan arah yang berbeda.

Untuk membuktikan rumus hukum Newton III dapat kita pelajari dari gambar dibawah ini;



Gambar 5.1. interaksi dari dua buah benda
 Sumber Bahan ajar MK.Fisika

Dalam gambar 5.1 dua buah balok dengan berat 50N dan 200N diletakkan diatas pegas, kedua balok juga dalam keadaan berkesetimbangan, maka untuk membuktikan hukum Newton III (gaya aksi reaksi) dapat dijabarkan sebagai berikut;

Kita tinjau gambar (b) : dalam gambar ini ditunjukkan balok dengan massa 50N mengeluarkan gaya 50 N ke bawah namun balok tersebut mendapat gaya sebesar 50N ke arah atas.

Gambar (c) : balok sebesar 200N dengan tambahan massa 50N dari balok diatasnya akan mempunyai berat kebawah sebesar 250 N, akan tetapi kedua balok tersebut tentu didukung oleh pegas kearah atas sebesar 250 N

Gambar (d) : merupakan hasil akhir dari uraian gaya aksi reaksi, dimana massa kedua balok sebesar 250N akan menekan pegas dengan gaya sebesar 250N ke arah bawah namun kedua balok

tersebut juga disupport gaya sebesar 250N oleh pegas itu sendiri ke arah atas.

Dari penjelasan (a) sampai (d) diatas dapat dibuktikan bahwa hukum Newton III disebut juga Hukum Aksi – Reaksi atau dapat dituliskan :

$$F_{aksi} = - F_{reaksi} \dots\dots\dots(1)$$

5.2 Hubungan Antara Massa, Berat, Gaya, Kecepatan Dan Percepatan Dalam Hukum Newton Iii

A. Massa dan berat

Massa merupakan salah satu sifat yang dimiliki oleh sebuah benda sedangkan berat merupakan gaya gravitasi yang bekerja pada benda agar benda tersebut dapat bergerak. Hubungan antara massa dan berat dapat digambarkan sebagai berikut, jika sebuah benda mempunyai massa tertentu jatuh bebas ke bumi maka benda tersebut hanya dipengaruhi oleh satu macam gaya yaitu gaya gravitasi bumi. Dari contoh ini dapat diturunkan rumusnya bahwa :

$$F = m.a \dots\dots\dots (2)$$

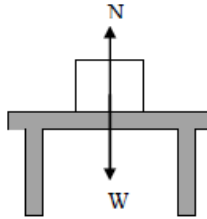
Jika $F = W$, $a = g$ dengan mensubstitusikan besaran ini kedalam persamaan (2) maka persamaan (1) menjadi $W = m.g$
 $\dots\dots\dots (3)$

W = berat benda (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Penerapan rumus:



Sebuah balok sebesar 2 kg diletakkan diatas meja. Meja berada diatas bumi, jika percepatan gravitasi bumi diketahui 10 m/s². Berapakah besarnya gaya reaksi yang ditimbulkan oleh buku.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} W &= m \cdot g \\ &= (2 \text{ kg}) \cdot (10 \text{ m/s}^2) \\ &= 20 \text{ N} \end{aligned}$$

Besarnya gaya aksi buku ke bumi = 20 N, karena $F_{\text{aksi}} = - F_{\text{reaksi}}$ maka besarnya gaya reaksi yang ditimbulkan oleh bumi ke buku sebesar -20 N.

B. Gaya

Pengertian dari gaya disini merupakan reaksi yang ditimbulkan oleh suatu benda dimana sebelumnya sudah diberikan gaya. Gaya dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu gaya kontak dan gaya non kontak. Gaya kontak adalah cara mempengaruhi benda sebagai akibat dari kontak, salah satu contohnya adalah gaya gesekan. Sementara itu, gaya non-kontak mengacu pada gaya yang diterapkan pada suatu benda tanpa menyentuhnya, seperti gravitasi bumi.

Aplikasi gaya yang sering digunakan dalam hukum Newton III adalah gaya gesek yang dinotasikan dengan fg .

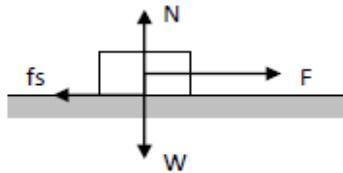
$$fg = \mu \cdot N \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

μ = koefisien gesek

N = gaya normal

Gaya normal (N) merupakan gaya reaksi yang terjadi ketika sebuah benda ditempatkan tegak lurus terhadap bidang. Besarnya gaya normal yang bekerja pada benda ditentukan oleh besarnya gaya lain yang bekerja secara bersamaan pada benda tersebut.

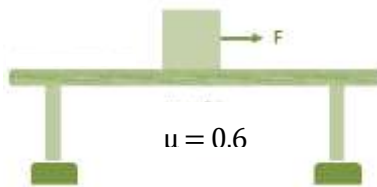


Gambar 5.2. gaya normal
Sumber bahan ajar Fisika

Dari uraian diatas maka gaya normal (N) = W
 $= m \cdot g$

Apabila besarnya $F < fg$ maka benda belum bergerak, namun jika $F > fg$ benda bergerak ke tempat tertentu. Jika $F = fg$ benda tepat akan bergerak.

Contoh soal:

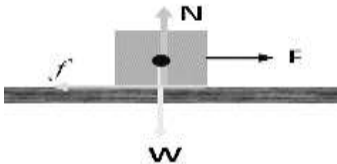


Gambar 5.3. gaya gesek
Sumber Fisika untuk SMA

Sebuah benda dengan massa 2kg diletakkan di atas meja secara mendatar. Dalam benda dikenakan gaya kekanan sebesar F dan koefisien gesek sebesar 0,6. Tentukan besarnya gaya gesek jika gaya F yang bekerja sebesar 10N.

Penyelesaian soal:

Dari gambar 5.2 diuraikan terlebih dahulu gaya-gayanya.



Gambar 5.4. uraian gaya
Sumber Fisika untuk SMA

Rumus gaya gesek

$$fg = \mu \cdot N$$

$$fg = \mu \cdot W$$

$$= \mu \cdot m \cdot g$$

$$= (0,6) \cdot (2) \cdot (10)$$

$$= 12 \text{ N}$$

Dikarenakan $F < fg$ maka benda tersebut masih dikatakan diam, dikarenakan gaya (F) yang diberikan pada benda tersebut tidak cukup untuk menggerakkan benda. Dengan demikian $\Sigma F = 0$ sehingga $F - fg = 0$

$$fg = F$$

$$fg = 10 \text{ N}$$

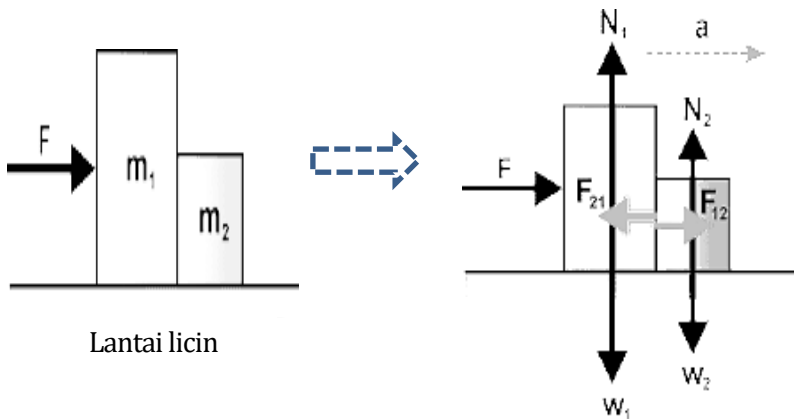
C. Kecepatan dan Percepatan

Dalam ilmu fisika dijelaskan bahwa percepatan dan kecepatan mempunyai arti yang berbeda, percepatan merupakan proses cepat atau lambatnya suatu benda bergerak dari satu tempat ke tempat lain pada jarak dan waktu tertentu pula. Sedangkan kecepatan perpindahan dari benda memiliki arah yang dapat diuraikan dengan vektor.

Latihan soal:

- (1) Diketahui 2 balok saling bersentuhan masing-masing mempunyai berat $m_1 = 70 \text{ kg}$ dan $m_2 = 30 \text{ kg}$ diatas lantai yang licin. Gaya yang diberikan pada balok 1 sebesar 200 N . Berapakah percepatan dari masing-masing balok dan gaya yang ditimbulkan oleh balok 1 supaya dapat menyentuh balok 2.

Penyelesaian:



Gambar 5.5. benda pada bidang datar
Sumber Fisika untuk SMA

Dari gambar sebelah kanan, F_{12} merupakan gaya aksi yang diberikan balok 1 terhadap balok 2, sedangkan F_{21} adalah gaya reaksi dari m_2 terhadap m_1 .

Pertama ditinjau balok 1,

karena lantainya licin gaya gesek tentu tidak terjadi dalam peristiwa tersebut sehingga $\Sigma F_x = m \cdot a$

$$F - F_{21} = m_1 \cdot a \quad \dots\dots\dots (a)$$

Tinjau balok 2

$$\Sigma F_x = m \cdot a$$

$$F_{12} = m_2 \cdot a \quad \dots\dots\dots (b)$$

Dikarenakan $F_{12} = F_{21}$ dengan mensubstitusikan persamaan (b) kedalam persamaan (a) di dapat sebagai berikut,

$$F - m_2 \cdot a = m_1 \cdot a$$

$$F = m_1 \cdot a + m_2 \cdot a$$

$$= (m_1 + m_2) a$$

$$a = \frac{F}{(m_1 + m_2)} \dots\dots\dots (c)$$

Setelah didapat persamaan percepatan (persamaan c) kemudian dimasukkan nilai-nilai yang sudah diketahui, akan didapat :

$$a = \frac{F}{(m_1 + m_2)}$$

$$a = \frac{200}{(70+30)}$$

$a = 2 \text{ m/s}$ merupakan percepatan dari kedua balok

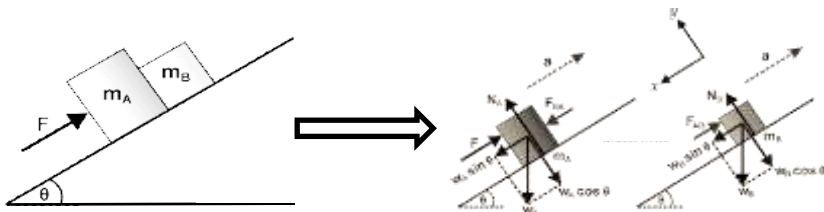
$$\begin{aligned} \text{Besarnya gaya sentuh; } F_{12} &= m_2 \cdot a \\ &= 30 \cdot 2 \\ &= 60 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi besarnya gaya sentuh antara kedua balok = 60 N.

- (2) Jika dari latihan soal diatas kedua balok diletakkan diatas permukaan bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan 37° gaya dorong yang diterima balok A sebesar 800N . Hitung percepatan juga gaya sentuh balok A terhadap balok B.

Penyelesaian :

Dari soal dapat digambarkan sebagai berikut;



Gambar 5.6. benda di bidang miring
Sumber Fisika untuk SMA

F_{AB} merupakan gaya aksi yang diberikan oleh balok A terhadap balok B, sedangkan

F_{BA} adalah gaya reaksi yang ditimbulkan oleh balok B pada balok A.

Untuk menentukan percepatan ditinjau dahulu gaya-gaya yang ditimbulkan masing-masing balok.

Balok A

Karena bidang miring yang digunakan licin maka jumlah gaya kearah sumbu Y tidak perlu diuraikan.

$$\Sigma F_x = m \cdot a$$

$$F - W_A \cdot \sin \theta - F_{BA} = m_A \cdot a$$

$$F - m_A g \cdot \sin \theta - F_{BA} = m_A \cdot a \dots\dots\dots (d)$$

Sekarang ditinjau balok B

$$\Sigma F_x = m \cdot a$$

$$F_{AB} - W_B \cdot \sin \theta = m_B \cdot a$$

$$F_{AB} - m_B g \cdot \sin \theta = m_B \cdot a$$

$$F_{AB} = m_B \cdot a + m_B g \sin \theta \dots\dots\dots (e)$$

Karena gaya aksi = gaya reaksi yang dapat dituliskan $F_{AB} = F_{BA}$, dengan mensubstitusikan persamaan (e) kedalam persamaan (d) didapat

$$F - m_A g \cdot \sin \theta - (m_B \cdot a + m_B g \cdot \sin \theta) = m_A \cdot a$$

$$F - (m_A g \cdot \sin \theta - m_B g \cdot \sin \theta) = m_A \cdot a + m_B \cdot a$$

$$F - g \cdot \sin \theta (m_A + m_B) = (m_A + m_B) \cdot a$$

$$a = \frac{[F - g \sin \theta (m_A - m_B)]}{(m_A - m_B)}$$

$$a = \left[\frac{F}{(m_A + m_B)} \right] - g \cdot \sin \theta \dots\dots\dots (f)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai yang sudah diketahui kedalam persamaan (f) akan diperoleh percepatan kedua balok sebesar;

$$\begin{aligned} a &= \left[\frac{F}{(m_A + m_B)} \right] - g \cdot \sin \theta \\ &= \left[\frac{800}{(70+30)} \right] - 10 \cdot \sin 37^\circ \\ &= 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Dari nilai percepatan disubstitusikan kedalam persamaan (e) akan didapat;

$$\begin{aligned} F_{AB} &= m_B \cdot a + m_B g \sin \theta \\ &= (30) \cdot (2) + (30) \cdot (10) (0,6) \\ &= 60 + 180 \\ &= 240 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi besarnya gaya sentuh balok A dan B adalah 240 N.

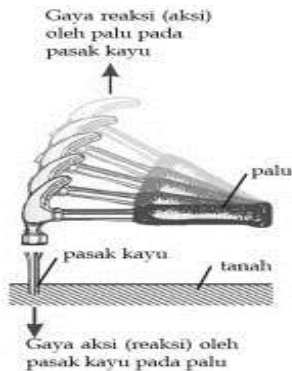
5.3 Konsep Dan Aplikasi Hukum Newton Iii

A. Konsep Hukum Newton III

Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bunyi dari hukum Newton III **“Ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda pertama”** dapat dituliskan dengan $F_{aksi} = -F_{reaksi}$.

Hukum Newton III diaplikasikan terhadap benda yang bersinggungan dengan benda lain, misalnya buku yang diletakkan diatas meja atau dilantai yang licin dll. Sedangkan aplikasi yang lain dari penerapan hukum newton III dalam kehidupan sehari-hari seperti pada saat kita menempel didinding, tanpa terasa ada gaya yang terjadi pada saat itu mendorong dirinya ke dinding. Gaya tekan ini disebut gaya aksi, sedangkan dinding memberikan gaya yang mengkompensasi gaya tumbukan kita. Gaya ini adalah gaya

reaksi. Besarnya gaya aksi sama dengan gaya reaksi, namun arah yang dihasilkan berlawanan, dimana gaya aksi mengalami dinding, sedangkan kita yang bersandar padanya mengalami gaya reaksi. Contoh lain yang dapat kita terapkan ketika kita memukul paku ke sebuah balok kayu.



Ketika kita memukul paku kedalam sebuah balok, pada saat palu mengenai bagian atas paku pada saat itu juga paku mengalami gaya aksi dan pada saat bersamaan paku akan memberikan gaya reaksi terhadap palu akan tetapi arahnya berlawanan.

Gambar 5.7. gaya aksi reaksi
Sumber Fisika untuk SMA

Dari kedua contoh diatas terlihat bahwa penerapan dari hukum Newton III digunakan terhadap suatu benda yang dapat menimbulkan gaya aksi reaksi. Syarat terjadinya gaya aksi reaksi adalah :

1. Gaya nya berlawanan arah
2. Mempunya gaya yang sama besar
3. Bekerja pada 2 benda yang saling berinteraksi
4. Bekerja pada satu garis gaya

B. Aplikasi Hukum Newton III

1. Diketahui seseorang mempunyai berat 50 kg berada didalam lift yang bergerak keatas dengan percepatan sebesar 5 m^{-2} . Apabila percepatan gravitasi bumi = 10 ms^{-2} . Hitung gaya aksi orang tersebut pada lantai lift.

Penyelesaian:

$$F_{\text{aksi}} = m \cdot a$$

$$W = m \cdot g$$

$$N - mg = ma$$

$$N = mg + ma$$

$$= (50 \text{ kg}) \times (10 \text{ ms}^{-2}) + (50 \text{ kg}) \times (5 \text{ ms}^{-2})$$

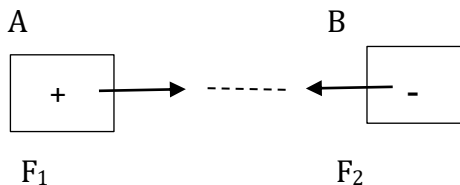
$$= 750 \text{ newton}$$

Jadi gaya aksi yang ditimbulkan oleh seorang yang berada didalam lift terhadap lantai lift = 750 newton.

2. Dua buah benda A dan B mempunyai gaya coulomb sebesar F_1 dan F_2 bergerak berlawanan arah.

Buktikan bahwa gaya coulomb F_1 dan F_2 merupakan pasangan gaya aksi reaksi atau mengikuti hukum Newton III.

Penyelesaian :



Gambar 5.8. gaya aksi reaksi
Sumber bahan ajar Fisika

$$\text{Besarnya gaya coulomb } F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_2 = k \frac{q_2 q_1}{r^2}$$

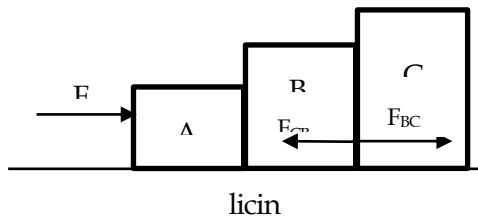
Kemudian kita lihat syarat dari syarat pasangan gaya aksi reaksi,

- a. Syarat yang pertama gaya yang bekerja berlawanan arah (terpenuhi)

- b. Syarat yang kedua gaya yang bekerja pada benda yang berbeda terpenuhi
- c. Besarnya gaya coulomb benda A adalah $F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$,
pada benda B = $F_2 = k \frac{q_2 q_1}{r^2}$

Dari ketiga uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pasangan gaya coulomb F_1 dan F_2 dari kedua benda mengikuti hukum Newton III.

3. Ditinjau dari susunan balok seperti berikut



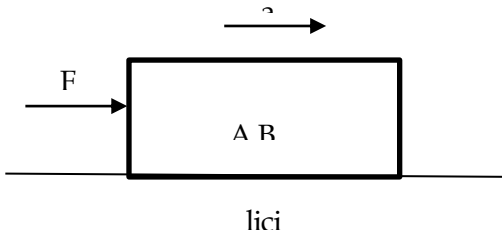
$$\begin{aligned} m_A &= 1 \text{ kg} \\ m_B &= 2 \text{ kg} \\ m_C &= 3 \text{ kg} \\ F &= 60 \text{ N} \end{aligned}$$

Gambar 5.9. gaya aksi reaksi
Sumber bahan ajar Fisika

Buktikan bahwa F_{BC} dan F_{CB} merupakan gaya-gaya kontak yang mengikuti hukum Newton III.

Penyelesaian :

Langkah pertama yang harus dikerjakan adalah mencari percepatan dari sistem tersebut. Dari gambar 5.8 kita sederhanakan menjadi sebagai berikut;



$$\text{Percepatan} = a = \frac{\Sigma F}{\Sigma m}$$

$$a = \frac{F}{m_A + m_B + m_C}$$

$$= \frac{60}{1+2+3} = 10 \text{ m/s}^2$$

Dalam hal ini percepatan dari balok A,B, dan C sama besar karena terletak dalam 1 bidang datar yang licin.

Langkah berikutnya ditinjau gaya yang bekerja pada balok C yaitu F_{BC} .

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F_{BC} = m_C \cdot a$$

$$= 3 \times 10$$

$$= 30 \text{ N}$$

Untuk gaya pada balok B ditinjau sistem A,B (dikarenakan balok B dan A mendapat gaya reaksi dari balok C), sehingga

$$\Sigma F = m_{BA} \cdot a$$

$$F - F_{CB} = m_{BA} \cdot a$$

$$60 - F_{CB} = (1 + 2) \cdot 10$$

$$F_{CB} = 30 \text{ N}$$

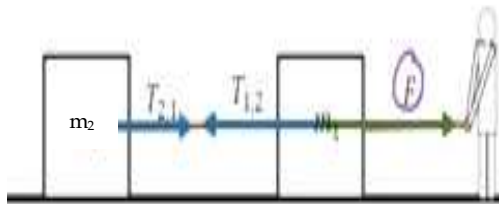
Dengan demikian dapat dikatakan bahwa $F_{BC} = F_{CB}$ (syarat 1, balok mempunyai gaya yang sama) kemudian balok C dan

B bekerja pada arah yang berlawanan (= syarat 2) disamping itu massa kedua balok juga berbeda (syarat ke 3).

Dari uraian diatas dapat dikatakan bahwa FBC dan FBC merupakan gaya kontak yang mengikuti hukum Newton III.

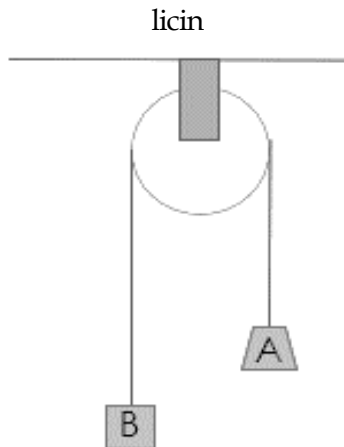
4. Dua buah benda dengan massa m_1 dan m_2 dihubungkan dengan sebuah tali. Berat $m_1 = 2$ kg dan $m_2 = 3$ kg. Seseorang menarik benda m_1 dengan gaya F sebesar 10 N. Hitung ; a. gaya tegang tali yang dialami oleh kedua benda
b. besarnya percepatan yang dialami oleh benda m_1 juga m_2

Penyelesaian:



- a) $\Sigma F_1 = m_1 \cdot a$
 $F - T_{12} = m_1 \cdot a$
dikarenakan tegangan tali di m_1 = tegangan tali di m_2 ,
maka $T_{12} = T_{21}$ dengan demikian
 $F = (m_1 + m_2) \cdot a$
 $10 = 5 \cdot a$
 $a = 2 \text{ m/s}^2$
- b) $\Sigma F_2 = m_2 \cdot a$
 $T_{21} = m_2 \cdot a$
 $= 3 (2) = 6 \text{ N}$
 $F - T_{12} = m_1 \cdot a$
 $10 - T_{21} = 2 \cdot (2)$
 $-T_{21} = -6$
 $T_{21} = 6 \text{ N}$

5. Diketahui dua buah benda $m_A = 6 \text{ kg}$ dan $m_B = 4 \text{ kg}$ dihubungkan dengan sebuah katrol (seperti dalam gambar 5.9). Katrol digantung di atas yang licin. Apabila besarnya gaya gravitasi $= 10 \text{ m/s}^2$ dan massa tali diabaikan.
Hitung : a) Percepatan dari benda A dan B
b) Tegangan tali.

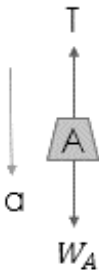


Gambar 5.10. Benda Dihubungkan Dengan Katrol
Sumber Fisika untuk SMA

Penyelesaian:

Diasumsikan bahwa tali tegang sehingga gaya tegangan tali disetiap titik akan sama besar. Massa benda lebih berat dari benda B dengan demikian benda A dengan sendirinya akan bergerak ke bawah sedangkan benda B bergerak ke atas dengan percepatan yang sama.

Terlebih dahulu ditinjau benda A,

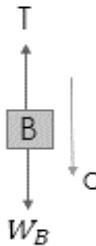


$$F_A = W_A - T$$

$$m_A \cdot a = m_A \cdot g - T$$

$$6 \cdot a = 60 - T \quad \dots\dots\dots (1)$$

Pada benda B berlaku



$$F_B = W_B - T$$

$$m_B \cdot a = T - m_B \cdot g$$

$$4 \cdot a = T - 40 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan (1) dijumlahkan dengan persamaan (2) didapat:

$$6a = 60 - T$$

$$4a = -40 + T$$

$$10a = 20$$

$$a = 2 \text{ m/s}^2$$

Untuk menghitung tegangan tali dengan cara mensubstitusikan harga a kedalam persamaan (1) dan (2), akan didapat :

$$\text{Persamaan (1)} = 6a = 60 - T$$

$$6(2) = 60 - T$$

$$T = 48$$

$$\text{Persamaan (2)} = 4a = T - 40$$

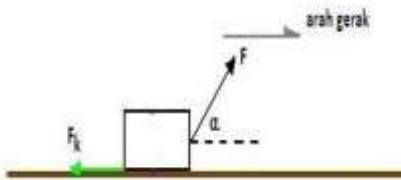
$$4(2) = T - 40$$

$$T = 48$$

SOAL

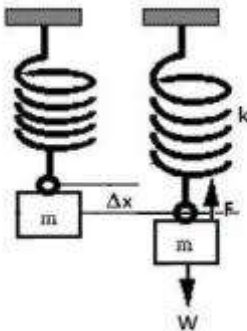
1. Balok terletak pada bidang miring dengan sudut θ dengan bidang horizontal. Koefisien gesekan statis pada bidang miring adalah (μ_s), Hitung gaya minimum yang diperlukan untuk mencegah benda bergerak pada bidang miring
2. Hitung percepatan benda bermassa m yang meluncur sepanjang bidang miring beraturan dengan sudut θ terhadap horizontal.

3.



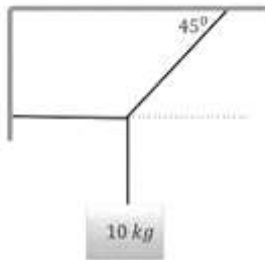
Hitunglah percepatan benda yang ditarik oleh gaya F dengan sudut α seperti pada gambar

4.

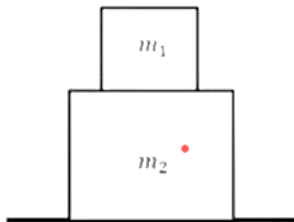


Pegas memiliki konstanta ($= k$) dan balok bermassa m digantungkan pada pegas, kemudian pegas diregangkan sepanjang Δx , hitung percepatan pegas ketika dilepaskan dengan merentangkan Δx

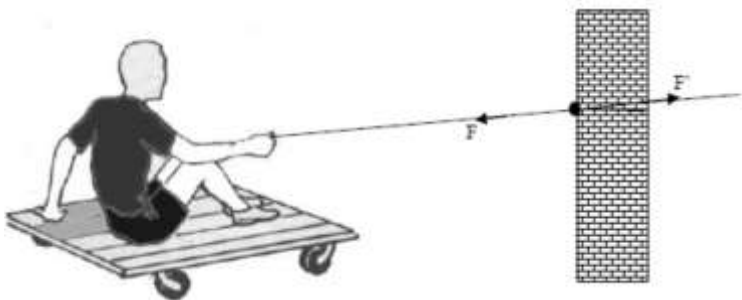
5. Dari gambar disamping tentukan T_1, T_2 dan T_3



6. Diketahui susunan benda 1 dan 2 seperti gambar. Jika massa $m_1 = 2\text{ kg}$ sedangkan $m_2 = 4\text{ kg}$. Berapakah besarnya gaya normal dari benda 2 terhadap lantai.

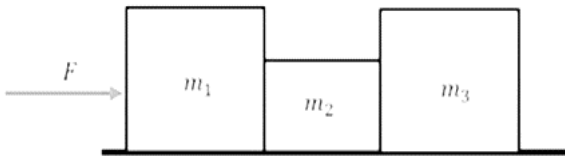


- 7.



Dari gambar tersebut buktikan bahwa hukum Newton III berlaku.

8. Jika sebuah buku dengan berat 1 kg terletak di atas meja sedangkan gaya gravitasi diketahui 10 m/s^2 . Jelaskan bagaimana hukum Newton III berlaku.
9. Dua buah balok A dan B berhimpitan terletak pada bidang datar yang licin. Gaya yang bekerja pada balok A sebesar F , massa masing-masing balok adalah m dan $2m$. Berapakah besarnya gaya aksi reaksi dari balok A dan B.
- 10.



Dari susunan balok diatas diketahui gaya $F = 15 \text{ N}$, $m_1 = 2 \text{ kg}$, $m_2 = 1 \text{ kg}$, dan $m_3 = 2 \text{ kg}$.

Berapakah besarnya :

- Percepatan dari masing-masing balok
- Gaya sentuh antara balok m_1 dan m_2
- Gaya sentuh antara balok m_2 dan m_3

DAFTAR PUSTAKA

- Herry Setyawan. 2020. 'Fisika: Hukum Newton pada Gerak Lurus',
Hukum Newton pada gerak lurus, pp. 1–38.
- J, S. 2016. *FISIKA UNTUK SMA*.
- Serway, R. a. and Jewett, J. W. 2008. 'Physics for Scientists and
Engineers with Modern Physic, 7 ed', *Brooks/cole*, Cengage
Le, p. 739(1215).
- Wahyuni, I. 2019. 'Bahan ajar mk. fisika', in.
- Walker, J., Halliday, D. and Resnick, R. 2014. *Fundamentals of
Physics Halliday & resnick 10ed*, Wiley.

BAB 6

GAYA BERAT PESAWAT TERBANG

Oleh Tungga Bhimadi Karyasa

6.1 Pendahuluan

Gaya berat pesawat terbang seperti halnya untuk gaya berat benda pada umumnya, mempunyai 4(empat) karakteristik, yaitu: **resultan** gaya berada di pusat berat, **arah** gaya selalu ke bawah ke pusat bumi, **harga** gaya berat merupakan perkalian masa benda dengan gravitasi dengan harga gravitasi makin kecil pada lokasi menuju kutub, dan benda mempunyai **lokasi** pusat berat tertentu yang juga sebagai pusat perputaran.

Seperti halnya benda, gaya berat pesawat juga mempunyai empat karakteristik yang harus ditentukan dengan cermat. Cermat artinya sedikit menyimpang dari prediksi sebelumnya atau harga penyimpangan tersebut dapat ditoleransi. Masalahnya adalah bagaimana menentukan pusat berat pesawat dengan teliti, dan penyimpangan posisi sangat kecil, atau masih dapat ditoleransi, bukan hal yang mudah karena jumlah komponen yang ada tidak sedikit.

Tidak sedikit prediksi lokasi dan harga gaya berat pesawat yang riil diperoleh, mempunyai penyimpangan yang signifikan dari prediksi saat desain. Kondisi riil (tentang: resultan, arah, harga, dan lokasi) dari berat pesawat, diperoleh setelah dilakukan *test* dari pesawat sebenarnya. Itulah sebabnya untuk persyaratan regulasi pesawat komersial atau penumpang menurut regulasi sampai saat ini, diperlukan pembuatan 4(empat) pesawat, masing-masing *test* untuk: flight test, full scale dan component fatigue test, static and vibration component test, dan operational system test.

Gaya berat benda dapat dengan sederhana ditentukan dalam percobaan sederhana. Penentuan gaya berat pesawat dengan aneka komponen secara prinsip dilakukan dengan mudah asalkan **dapat diketahui 4(empat)** dari semua komponen pembentuk pesawat terbang. Komponen berat yang paling dominan pada pesawat terbang secara berurut adalah: struktur, penumpang untuk pesawat komersial, interior cabin, bagasi dengan beban luar, engine, sistem kontrol, sistem avionik, dan landing gear. Atau umum dinyatakan dalam enam kelompok komponen utama.

6.2 Penentuan Letak Titik Berat Pesawat

Letak pasti titik berat semua komponen dinyatakan dalam koordinat 3(tiga) dimensi harga dalam (x, y, z) . Untuk mendefinisikan koordinat pesawat, gambar pandangan samping kiri pesawat diletakkan pada posisi menghadap kekiri. Posisi lokasi $(0, 0, 0)$ diletakkan pada titik terjauh dari nose yaitu posisi paling depan pesawat. Garis sumbu-x positif adalah garis yang menghubungkan titik $(0, 0, 0)$ dengan titik terbelakang dari pesawat. Arah koordinat-y dan koordinat-z mengikuti aturan tangan kanan dimana arah: sumbu-x sesuai arah ibu jari, sumbu-y sesuai arah jari telunjuk, sumbu-z sesuai arah jari tengah.

Penentuan berat dan posisi pesawat diperlukan untuk **memastikan** pesawat terbang kondisi dengan stabilitas statis dan dinamis terhadap segala kondisi terbang dari harga semua gaya yang timbul. Stabilitas statis didefinisikan sebagai evaluasi stabilitas kondisi cruising dimana terbang dengan kecepatan konstan sesuai Hukum Newton-1. Dari sepuluh kriteria stabilitas, 5(lima) kriteria untuk stabilitas statis yaitu stabilitas arah: longitudinal, lateral guling, lateral slip, gangguan downwash, dan forward engine. Dua diantaranya yaitu longitudinal dan gangguan downwash berhubungan erat dengan berat dan posisi pesawat.

Posisi stabil statis **harus dalam kondisi** pusat berat (X_{cg}) berada di depan pusat semua gaya aerodinamika (X_{ac}).

Sebagai contoh pesawat komersial dengan konfigurasi sayap yang tergantung kecepatan terbang, contoh untuk pesawat subsonik umumnya sayap diatas fuselage dan ekor horizontal diletakkan di tip ekor vertical untuk menghindari efek udara dari engine. Jika terjadi gangguan downwash, maka pesawat mendongak yang berarti sudut serang bertambah. Posisi pusat semua gaya aerodinamika yang di belakang pusat berat akan menimbulkan momen anggukan untuk memperkecil harga sudut serang dan pesawat kembali stabil. Momen anggukan yang dihasilkan terlalu besar karena jarak antara X_{cg} - X_{ac} melampaui yang dibutuhkan. Gangguan downwash ini menyebabkan anggukan berlebih, sehingga pesawat jatuh. Hal yang sama terjadi pada gangguan kecepatan, apakah harganya lebih besar atau lebih kecil.

Perhitungan pusat berat, misalnya dilakukan terhadap sumbu-x. diperoleh persamaan:

$$x_{cg} = \frac{\sum(W_i \cdot x_i)}{\sum W_i} \quad (6.1)$$

dimana,

W_i = berat masing-masing komponen

x_i = jarak titik berat komponen arah sumbu x

Perhitungan berat dinyatakan dalam 4(mpat) kondisi, yaitu pada kondisi berat pesawat:

1. Maksimum, saat setelah take off dan loitter kemudian akan climb.
2. Menjalankan misi, misalnya: cruising untuk pesawat penumpang dan misi menyerang untuk pesawat tempur, descend, dan climb.
3. Berat kosong pesawat.

Baik berat maksimum maupun berat sesuai misi, ditentukan setelah berat kosong pesawat diketahui.

6.3 Prediksi Komponen Berat Kosong Pesawat dan Posisinya

Prediksi Komponen Berat Kosong Pesawat terbang merupakan akumulasi dari berat semua komponen yang terlibat yang semuanya diasumsikan dengan pusat berat masing-masing dan terletak pada posisi tertentu. 6(enam) komponen utama berat kosong pesawat terbang tersebut adalah:

1. **Sayap** atau wing termasuk bagian struktur dengan komponen (seperti spar, rib, stiffener, flap, tangki, beban luar seperti bom, dan aileron).
2. **Fuselage** atau badan pesawat termasuk komponen (seperti interior desain, penumpang, lavatory, kokpit, bagasi atas, bagasi, dapur, dan ruang penyimpanan konsumsi).
3. **Ekor** atau disebut vertical stabilisator dengan komponen, seperti spar, rib, stiffener, airfoil stabilisator vertical, trim ekor, sistem kontrol, sistem kelistrikan, dan tip ekor.
4. **Sirip tegak** atau disebut horizontal stabilisator yang terletak di sebelah kiri dan kanan badan pesawat di ujung belakang dengan komponen, seperti spar, rib, stiffener, airfoil stabilisator horizontal, trim sirip tegak, sistem kontrol, dan tip sirip tegak.
5. **Sistem engine** termasuk komponen, seperti engine, nosel, inlet, engine mounting, struktur tumpuan engine.
6. **Roda pendarat** atau landing gear yang umumnya terdapat pada 3(tiga) lokasi, yaitu satu di depan dan dua di bawah badan atau di bawah sayap dengan komponen, seperti roda, aktuator, sistem hidrolik, struktur penyangga, dan sistem hidrolik.

Sekarang, **menentukan pusat berat** dari apapun bentuk benda dan dimanapun ditempatkan, dapat dilakukan dengan bantuan seperangkat komputer dan program Artificial Intelligent (program-AI). Hal ini karena antara lain: bagaimanapun benda direntangkan dalam pesawat sekaligus memperhatikan bagaimana persoalan berikut ini sudah dapat diperoleh pemecahannya, antara lain yaitu:

1. Bagaimanapun benda direntangkan dalam pesawat sekaligus memperhatikan bagaimana persoalan berikut ini sudah dapat diperoleh pemecahannya.
2. Yang diperlukan dalam program-AI adalah data berat jenis dan dimensi untuk perhitungan, tetapi prakteknya untuk aplikasi data, **diperlukan keahlian khusus** karena gambar benda harus secara teliti tergambar sesuai koordinat yang diminta program. Perlu waktu cukup lama untuk menjadi ahli menentukan pusat berat dengan komputer.
3. Sebelum muncul program-AI, peran data statistik untuk memberikan persamaan empiris semua komponen akumulasi berat kosong pesawat, menjadi penting. Perlu waktu cukup lama untuk menjadi ahli menentukan pusat berat dengan komputer, maka untuk latihan penentuan berat kosong dengan menggunakan persamaan empiris.

Berikut adalah contoh penentuan **berat kosong pesawat trainer atau tempur** dengan persamaan empiris yang didukung data statistik. Persamaan ini sudah diuji dan sesuai rekomendasi formulasi USAF, untuk metal dan konvensional, dari HL Roland dari General Corporation untuk *berat kosong*, dari rujukan **Leland M. Nicolai (1975)** bab-20, sebagai berikut:

1. Berat struktur sayap

$$W_{ey} = 3.08 \left(\frac{k_{piv} NW_{to}}{t/c} \right) \left(\left(\tan \Lambda_{1e} - \frac{2(1+\lambda)}{AR(1+\lambda)} \right)^2 + 1 \right) \\ * (10^{-6})^{0.593} ((1 + \lambda)AR)^{0.741} A_w^{0.741} \quad (6.2)$$

dimana,

$k_{piv} = 1$ untuk fixed wing

t/c = thickness ratio maksimum

W_{to} = berat take off maksimum (lb)

Λ_1 = sudut sweep leading edge (rad)

λ = taper ratio

AR = aspek ratio

A_w = luas sayap (ft^2)

N = ultimate load factor ($1.5 * n$)

n = load factor maksimum (contoh =6 untuk pesawat trainer lanjut)

2. Berat struktur fuselage

$$W_{f1} = 10.43(k_{in1})^{1.42}(0.01 q)^{0.283}(W_{to}10^{-3})^{0.95}(L/H)^{0.71} \quad (6.3)$$

dimana,

q = tekanan dinamik sealevel ($1b/ft^2$)

L = panjang fuselage (ft)

H = tinggi maksimum fuselage (ft)

$K_{in1} = 1.25$ (tergantung tipe cone posisi paling besan fuselage)

3. Berat struktur horizontal tail

$$W_{ht} = 0.0034 (gama)^{0.915} \quad (6.4a)$$

$$gama = (W_{to}N)^{0.813} A_{ht}^{0.564} (b_{ht} / t_{rht})^{0.33} (C_{wing} / L_t)^{0.28} \quad (6.4b)$$

dimana,

A_{ht} = luas horizontal tail, (ft^2)

t_{rht} = tebal airfoil horizontal tail pada chord pangkal, (ft)

C_{wing} = Panjang dimana M_{ac} wing terletak, (ft)

L_t = Jarak $\frac{1}{4}$ chord M_{ac} wing-horizontal tail, (ft)

b_{ht} = bentang horizontal tail, (ft).

4. Berat struktur vertikal tail

$$W_{vt} = 0.19 (\text{gega})^{1.014} \quad (6.5a)$$

$$\text{gega} = (1 + ht/hv)^{0.5} (W_{to} N)^{0.363} A_{vt}^{1.089} M^{0.601} L_{vt}^{-0.726} (1 + A_r/A_{vt})^{0.217}$$

$$\text{Cos } \lambda_{vt} = 0.484 AR_{vt}^{0.337} (1 + \lambda_{vt})^{0.363} \quad (6.5b)$$

dengan,

ht/hv = ratio ketinggian untuk horizontal tail, (=I untuk T tail)

A_{vt} = luas vertikal tail (ft²)

M = Ma number maksimum sealevel

L_{vt} = Jarak 1/4 chord Mac wing-vertical tail (ft)

A_r = Estimasi luas rudder (ft²)

AR_{vt} = Aspec ratio vertical tail

λ_{vt} = taper ratio vertical tail

Λ_{vt} = sudut sweep 1/4 vertical tail (rad)

5. Berat Roda Pendarat

$$W_{main} = 33 + 0.04 W_{to}^{0.75} + 0.021 W_{to} \quad (6.6a)$$

$$W_{nose} = 12 + 0.06 W_{to}^{0.75} \quad (6.6b)$$

6. Berat surface control, sistem hidraulik dan pneumatik.

$$W_{schp} = K_{oc} (W_{to} 10^{-3})^{0.567} \quad (6.7)$$

dimana,

K_{oc} = koefisien surface control

= 106.10 untuk elevon,

gerakan elevator kiri-kanan dapat searah atau berbeda

= 138.18 untuk horizontal tail

= 167.48 untuk variabel sweep wing

7. Berat instrumentasi.

a. Flight Instrument-Indicator

$$W_{fi} = N_{pi1ot} (15. + 0.032 (0.001 W_{to})) \quad (6.8a)$$

b. Engine Instrument Indicator

$$W_{eii} = N_{\text{engine}} (4.8 + 0.006 (0.001 W_{\text{to}})) \quad (6.8b)$$

c. Miscellaneous Indicator

$$W_{\text{mii}} = 0.15 (0.001 W_{\text{to}}) \quad (6.8c)$$

dimana,

N_{pilot} = jumlah pilot, =2 untuk trainer, dan =1 pesawat tempur.

N_{engine} = jumlah engine.

8. Berat peralatan furnishing.

a. Kursi Lontar

$$W_{k1} = 22.89 (0.01 N_{\text{crew}} q) \quad (6.9)$$

b. Miscellaneous and Emergency Equipment

$$W_{\text{mee}} = 106.61 (N_{\text{crew}} W_{\text{to}} 10^{-5})^{0.565} \quad (6.10)$$

Dimana

N_{crew} = jumlah penerbang

q = tekanan dinamik sealevel (lb/ft²)

9. Berat sistem propulsi.

a. Berat engine (dari data engine yang dipilih)

b. Sistem induksi udara (Air Induction System)

1) Duck Support Structure

$$W_{\text{dss}} = 0.31 N_i L_d A_i^{0.65} P_2^{0.6} \quad (6.11a)$$

2) Internal Duck -Neight

$$W_{\text{idw}} = 1.735 (L_d N_i A_i^{0.5} P_2 k_{\text{geo}})^{0.7331} \quad (6.11b)$$

3) Spike Weight

$$W_{\text{sw}} = 12.53 N_i A_i \quad (6.11c)$$

dimana,

N_i = jumlah inlet

L_d = panjang duck-subsonik per-inlet (ft)

A_i = Capture Area inlet (ft²)

P_2 = Tekanan statik maksimum kompresor (psia)

K_{geo} = Duck shape factor, =1 untuk $Ma < 1.4$

10. Peralatan sistem bahan bakar.

a. Seal Sealing Blended Cells

$$W_{ssbc} = 41.6 ((F_{gw} + F_{gf}) 0.01)^{0.818} \quad (6.12a)$$

b. Fuel System Blended Cell Backing and Support

$$W_{fsbs} = 7.91 ((F_{gw} + F_{gf}) 0.01)^{0.854} \quad (6.12b)$$

c. Dump and Drain System

$$W_{dds} = 7.38 ((F_{gw} + F_{gf}) 0.01)^{0.450} \quad (6.12c)$$

d. CG Control System

$$W_{cgc} = 28.38 ((F_{gw} + F_{gf}) 0.01)^{0.442} \quad (6.12d)$$

dimana,

F_{gw} = berat bahan bakar pada sayap (1b)

F_{gf} = berat bahan bakar pada fuselage (1b)

11. Berat engine control.

$$W_{ec} = K_{eco} (L_f N_e)^{0.792} \quad (6.13)$$

dimana,

L_f = panjang fuselage (ft)

N_e = jumlah engine

K_{eco} = koefisien tipe engine control

= 0.686 non a/b-engine (tanpa After Burner)

= 1.08 a/b engine (dengan After Burner)

12. Berat sistem starting

1. Cartridge and Pneumatic

$$W_{cap} = 0.33 (N_e W_{enj} 0.001)^{1.070} \quad (6.14a)$$

3. Electrical

$$W_{ect} = 38.93 (N_e W_{enj} 0.001)^{0.541} \quad (6.14b)$$

dimana,

W_{enj} = berat tiap engine

13. Berat avionic (untuk tipe pesawat propeller)

Evaluasi berat avionic mengikuti rujukan Torenbeek 289, yaitu:

$$W_{av} = (18.1 + 0.008 W_{to}) 2.205 \quad (6.15)$$

14. Berat sistem elektrik

$$W_{se} = 426.17 ((W_{fs} + W_{av}) 0.001)^{0.51} \quad (6.16)$$

dimana,

W_{fs} = berat bahan bakar total (lb)

Kemudian untuk posisi setiap komponen ini **diasumsikan**.

Contoh penentuan **berat kosong pesawat komersial** khusus untuk pesawat sub sonik, dengan persamaan empiris, terdapat pada bab-8, dari **Egbert Torenbeek (1976)**. Persamaan untuk penentuan berat kosong pesawat, menyertakan syarat evaluasi kelengkapan berat pada fuselage, yaitu untuk berat: tempat duduk, penumpang, bagasi cabin, kelengkapan pada ruang pilot, cargo, dan support. Gaya berat bagian pesawat tertentu.

1. Berat fuselage (W_s),

Untuk pesawat komersial dari Torenbeek, dinyatakan dengan rumus empirik dalam bentuk yang melibatkan gaya berat maksimum kondisi pesawat takeoff (W_{to}), yaitu:

$$W_s / W_{to} = k_s (n_{ult})^{1/2} ((b_f h_f l_f) / W_{to})^{0.24} \quad (6.17)$$

dimana,

k_s = konstanta pembanding awal

= 0.230 untuk b_f , h_f , l_f dalam ft, dan W_{to} dalam L_{bf} .

= 0.227 untuk b_f , h_f , l_f dalam meter, dan W_{to} dalam kg .

n_{ult} = Ultimate Load Factor

2. Berat sayap

Posisi sayap numpang diatas fuselage (W_w), yang dinyatakan terhadap berat kosong pesawat (W_g), sebagai berikut,

$$W_w/W_g = k_w b_s^{0.75} [1 + (b_{ref}/b_s)^{0.5}] n_{ult}^{0.55} ((b_s/t_r)/(W_g/A))^{0.30} \quad (6.18)$$

dimana,

k_w = konstanta pembandingan awal untuk sayap

b_s = bentang sayap sesungguhnya = $b/\cos \Lambda_{1/2}$

$\Lambda_{1/2}$ = sudut dihedral sayap

b_{ref} = bentang sayap referensi

t_r = tebal maksimum dhord pangkal sayap

A = luas sayap

Untuk pesawat komersial sub sonik, dengan $W_{to} < 12.500$ Lbf, Maka: $b_{ref} = 6.26$ ft atau 1.905 meter, $k_w = 1.25 \times 10^{-3}$ untuk skala satuan british unit, dan $k_w = 4.90 \times 10^{-3}$ untuk skala satuan metrik unit.

Untuk pesawat komersial sub sonik, dengan $W_{to} > 12.500$ Lbf, Maka: $b_{ref} = 6.26$ ft atau 1.905 meter, $k_w = 1.70 \times 10^{-3}$ untuk skala satuan british unit, dan $k_w = 6.67 \times 10^{-3}$ untuk skala satuan metrik unit.

3. Berat tail group (vertical dan horizontal tail) dinyatakan dengan persamaan empiris sebagai berikut:

$$W_{tail} = k_{wt} (n_{ult} S_{tail})^{0.75} \quad (6.19)$$

dimana,

$k_{wt} = 0.04$ untuk satuan british

$k_{wt} = 0.64$ untuk satuan metrik.

4. Berat body group,

Berhubung item pada body pesawat komersial, Torenbeek menyampaikan tahapan perhitungan untuk estimasi berat body sesuai Appendix-B

5. Berat group gear,

Yang termasuk group gear yaitu: roda pendarat, rem, kawat-kawat baja, pintu, sistem kontrol, damper, dan mekanisme pemuatan bagasi, dinyatakan dengan persamaan empiris sebagai berikut:

$$W_{uc} = k_{uc} [A + B W_{to}^{0.75} + C W_{to} + D W_{to}^{1.5}] \quad (6.20)$$

Konstanta A, B, C, dan D, sesuai tabel 8-6 Torenbeek.
 $k_{uc} = 1$ untuk low-wing, dan $= 1.08$ untuk high-wing.

DAFTAR PUSTAKA

- Nicolai. L M. 1975. Fundamentals for Aircraft Design. University of Dayton Ohio. Amerika Serikat.
- Torenbeek. E. 1976. Synthesis of Subsonic Airplane Design. Delf University Press. Belanda.

BAB 7

GAYA DORONG PADA PESAWAT TERBANG

Oleh Amal Fatkhulloh

7.1 Pendahuluan

Penerbangan telah memainkan peranan penting dari kehidupan manusia modern. Penerbangan untuk bisnis maupun liburan (Koščáková, Korba and Sekelová, 2022) juga jenis pesawat untuk tugas khusus (Čestić, Sokolović and Dodić, 2022), bahkan setelah pandemi covid-19 menurut (Yang, 2022) bahwa industri penerbangan terus memperkuat manajemen perusahaan. Pesawat terbang sebagai sebuah alat transportasi yang dapat terbang dan melakukan penerbangan dalam waktu yang relatif singkat (Effendi, Jamaludin and Sarifudin, 2020) dibandingkan dengan mobil dan kendaraan lainnya (Grimme and Pabst, 2019). Salah satu faktor utama yang memungkinkan pesawat terbang terbang dan bergerak di udara adalah adanya gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin pesawat (Gimadiev, Kluev and Stadnik, 2014).

Dorongan dihasilkan oleh mesin pesawat baik mesin piston maupun jet. Misal mesin jet, yang menghasilkan aliran gas buang berkecepatan tinggi yang menciptakan gaya reaksi ke arah yang berlawanan, mendorong pesawat ke depan. Besarnya gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin pesawat sangat penting dalam menentukan performa pesawat, seperti kecepatan, akselerasi, dan kemampuan manuvernya. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang konsep gaya dorong pada pesawat terbang sangat penting bagi para profesional di bidang penerbangan dan juga bagi masyarakat umum (Utomo, Derajat and Qomara, 2017).

Tujuan pembahasan ini untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang gaya dorong pada pesawat terbang. Bab ini akan membahas konsep dasar gaya dorong, komponen mesin pesawat terbang, faktor-faktor yang mempengaruhi performa pesawat terbang, teknologi terkini dalam mesin pesawat terbang, serta dampaknya terhadap industri penerbangan. Dengan membahas topik-topik ini, diharapkan pembaca akan memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang gaya dorong pada pesawat terbang, serta dapat memahami bagaimana ilmu ini dapat diterapkan dalam dunia penerbangan.

7.2 Konsep Dasar

Pesawat yang sedang terbang merupakan pusat tarik menarik gaya yang terus menerus. Kondisi tersebut sebagai kunci dari semua manuver yang dilakukan di udara yang pasti dan diketahui. Arah pergerakannya dapat dihitung, dan pesawat itu sendiri dirancang untuk memanfaatkannya. Oleh sebab itu suatu pesawat saat terbang dengan perhitungan terbang didasarkan pada besarnya dan arah dari empat gaya: berat, daya angkat, daya hambat, dan daya dorong (FAA, 2018).

1. Gravitasi atau berat (*Weight*) - gaya yang menarik pesawat ke arah bumi. Berat adalah gaya gravitasi yang bekerja ke bawah pada segala sesuatu yang ada di dalam pesawat, seperti pesawat itu sendiri, kru, bahan bakar, dan kargo.
2. Daya angkat (*Lift*) - gaya yang mendorong pesawat ke atas. Daya angkat bekerja secara vertikal dan melawan efek berat.
3. Daya dorong (*Thrust*) - gaya yang menggerakkan pesawat ke depan. Daya dorong adalah gaya ke depan yang dihasilkan oleh powerplant yang mengatasi gaya hambat.
4. Daya hambat (*Drag*) - gaya yang melakukan tindakan pengereman untuk menahan pesawat ke belakang. Drag adalah gaya penahan ke belakang yang disebabkan oleh

terganggunya aliran udara oleh sayap, badan pesawat, dan benda-benda yang menonjol.

Keempat gaya ini berada dalam keseimbangan sempurna hanya ketika pesawat dalam penerbangan lurus dan datar tanpa akselerasi. Gaya angkat selalu bekerja tegak lurus terhadap angin relatif, dan gaya hambat selalu bekerja sejajar dan searah dengan angin relatif. Gaya-gaya ini sebenarnya adalah komponen-komponen yang menghasilkan gaya angkat resultan pada sayap.



Gambar 7.1. Empat gaya: berat, daya angkat, daya hambat, dan daya dorong
(Sumber: (Fatkhulloh, 2021))

Berat memiliki hubungan yang pasti dengan gaya angkat, dan gaya dorong. Hubungan ini cukup sederhana, tetapi sangat penting dalam memahami aerodinamika terbang. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, daya angkat adalah gaya ke atas pada sayap yang tegak lurus dengan angin relatif. Daya angkat diperlukan untuk melawan gaya berat pesawat, yang disebabkan oleh gaya gravitasi yang bekerja pada massa pesawat. Gaya berat ini bekerja ke bawah melalui sebuah titik yang disebut pusat

gravitasi (CG). CG adalah titik di mana semua berat pesawat dianggap terkonsentrasi ketika gaya angkat berada dalam kesetimbangan dengan gaya berat, pesawat tidak akan mendapatkan atau kehilangan ketinggian. Jika daya angkat lebih kecil dari berat, pesawat akan kehilangan ketinggian. Jika daya angkat lebih besar dari berat, pesawat akan mendapatkan ketinggian(Kapitanova, Tiniakov and Makarova, 2020).

Perhitungan menunjukkan bahwa gaya angkat dan gaya hambat yang bekerja pada sayap sebanding dengan luas sayap. Ini berarti bahwa jika luas sayap digandakan, semua variabel lain tetap sama, gaya angkat dan gaya hambat yang dihasilkan oleh sayap akan menjadi dua kali lipat. Jika luasnya tiga kali lipat, gaya angkat dan gaya hambat menjadi tiga kali lipat, gaya hambat harus diatasi agar pesawat dapat bergerak, dan gerakan sangat penting untuk mendapatkan gaya angkat. Untuk mengatasi hambatan dan menggerakkan pesawat ke depan, diperlukan kekuatan lain. Gaya ini adalah daya dorong. Daya dorong berasal dari propeller dan atau propulsi jet (FAA, 2016).



Gambar 7.2. Daya Dorong, Daya Angkat Dan Daya Hambat
(Sumber: (FAA, 2018))

7.2.1 Prinsip Dasar Gaya Dorong

Prinsip dasar pesawat terbang bahwa untuk terbang, pesawat harus menghasilkan gaya dorong yang cukup untuk mengatasi gaya-gaya lain seperti gravitasi dan hambatan udara. Prinsip ini didasarkan pada hukum ketiga Newton yang menyatakan bahwa setiap aksi memiliki reaksi yang sama besar dan berlawanan arah (Zuhdi, Makhrus and Wahyudi, 2021).

Gaya dorong Pesawat terbang dihasilkan oleh mesin berprinsip termodinamika dalam membakar bahan bakar dan menghasilkan gas panas yang dikeluarkan dengan kecepatan tinggi (Rizkiarjo, 2022). Gaya dorong akan menggerakkan pesawat ke depan dan mengatasi gaya hambatan udara yang dihadapi oleh pesawat saat terbang (Liu *et al.*, 2022a).

Prinsip dasar gaya dorong juga berperan penting dalam lepas landas dan mendarat pesawat terbang. Saat lepas landas, mesin akan menghasilkan gaya dorong yang cukup besar untuk mengatasi gaya gravitasi dan hambatan udara yang lebih besar pada kecepatan rendah. Sedangkan saat mendarat, mesin akan menghasilkan gaya dorong yang lebih kecil untuk mengurangi kecepatan pesawat agar dapat mendarat dengan mulus (Kapitanova, Tiniakov and Makarova, 2020).

Dalam keseluruhan situasi penerbangan, pemahaman yang baik tentang prinsip dasar gaya dorong sangat penting bagi para pilot, teknisi pesawat, dan profesional di bidang penerbangan lainnya. Hal ini akan memastikan keselamatan dan efisiensi dalam penerbangan serta membantu meningkatkan performa pesawat terbang (Liu *et al.*, 2022b).

7.2.2 Daya Dorong Statis dan Daya Dorong Dinamis

Daya dorong statis mengacu pada jumlah daya dorong yang dihasilkan oleh mesin pesawat ketika pesawat tidak bergerak di tanah. Di sisi lain, daya dorong dinamis mengacu pada jumlah daya dorong yang dihasilkan oleh mesin pesawat ketika pesawat sedang

bergerak, seperti saat lepas landas atau terbang. Ada berbagai penelitian tentang daya dorong mesin pesawat, termasuk perhitungan karakteristik statis dan dinamis untuk pengatur konsumsi bahan bakar pada mesin pesawat (Utomo, Derajat and Qomara, 2017).

Thrust vectoring adalah teknik yang dapat digunakan untuk mengontrol arah daya dorong yang dihasilkan oleh mesin pesawat. Hal ini dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan manuver dan stabilitas pesawat (Liu *et al.*, 2022b).

Kelayakan vektor dorong mesin untuk kontrol lateral pesawat dalam sudut serang tinggi. Teknik ini terbukti efektif dalam meningkatkan sudut serang saat pesawat lepas landas (Rizkiarjo, 2022).

Gaya dorong baling-baling berkontribusi pada analisis stabilitas longitudinal pesawat. Metode untuk menghitung kontribusi gaya dorong terhadap stabilitas longitudinal pesawat diberikan tergantung pada jenis baling-baling (Milenković-Babić, 2018).

Pengukuran gaya dorong dalam penerbangan pesawat yang digerakkan oleh baling-baling dapat digunakan untuk memprediksi gaya dorong dan torsi statis dan dinamis mesin pesawat serta torsi dalam berbagai rasio kemajuan secara akurat.

7.2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Gaya Dorong

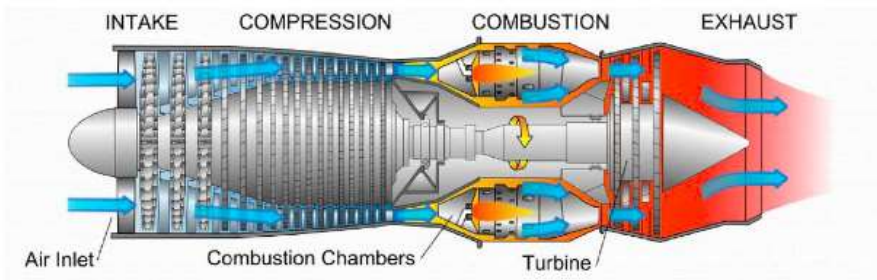
Beberapa faktor yang mempengaruhi gaya dorong pada pesawat terbang antara lain (Utomo, Derajat and Qomara, 2017; Rizkiarjo, 2022):

1. Jenis mesin: Setiap jenis mesin memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam menghasilkan gaya dorong, seperti mesin piston, turbojet, turbofan, turboprop, motor listrik dan lain-lain.

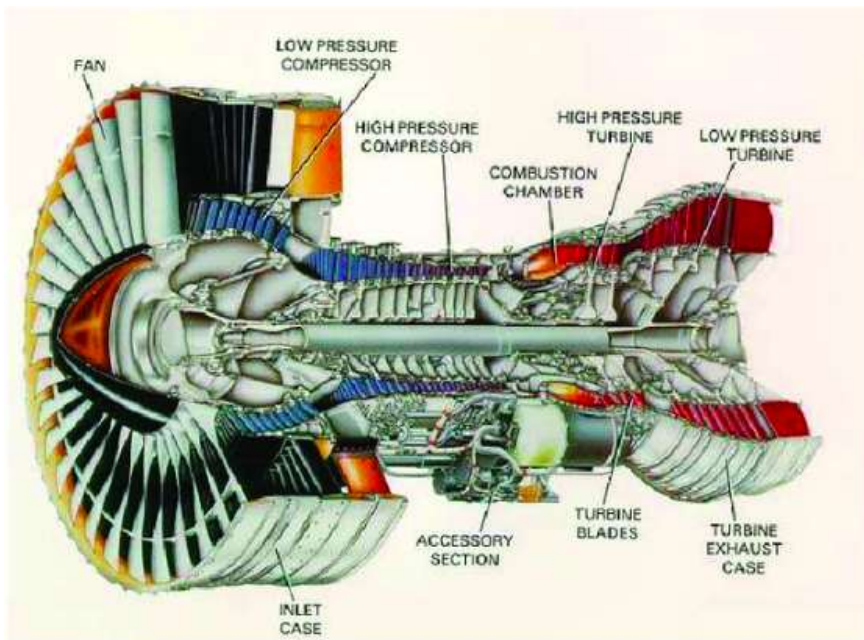
2. Suhu dan tekanan udara: Suhu dan tekanan udara pada tempat terbang mempengaruhi kinerja mesin dan akibatnya, gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin.
3. Kecepatan dan arah angin: Kecepatan dan arah angin juga mempengaruhi kinerja mesin dan kemampuan pesawat dalam menghasilkan gaya dorong.
4. Berat pesawat: Semakin berat pesawat, semakin besar gaya dorong yang diperlukan untuk mengangkatnya.
5. Ketinggian terbang: Ketinggian terbang juga mempengaruhi kinerja mesin dan kemampuan pesawat dalam menghasilkan gaya dorong.



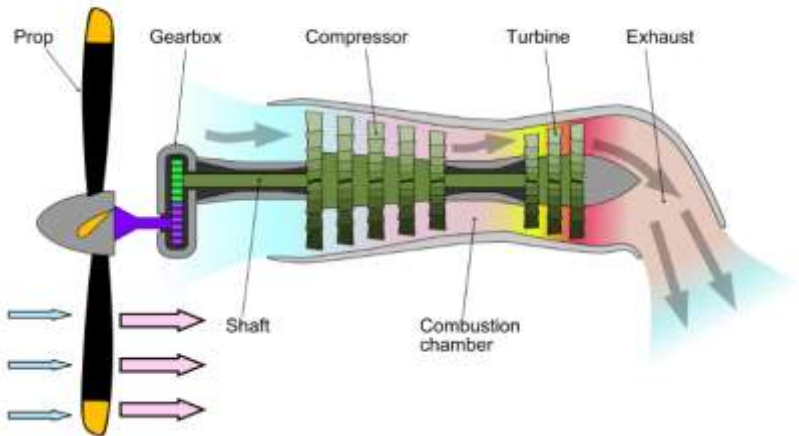
Gambar 7.3. Mesin Piston
(Sumber : (Aerocorner.com, 2023))



Gambar 7.4. Mesin Turbo Jet
(Sumber : (Ardeshiri, 2019))



Gambar 7.5. Mesin Turbopan
(Sumber : (Litt *et al*, 2003))



Gambar 7.6. Mesin Tuboprop
(Sumber : (news18.com, 2020))



Gambar 7.7. Mesin Listrik
(Sumber : (sustainableskies.org, 2017))

7.3 Jenis-jenis Sistim Dorong Pesawat Terbang

Ada beberapa jenis sistem dorong yang digunakan pada pesawat terbang. Mesin piston, turboprop, turbojet, turbofan, dan motor listrik adalah beberapa contohnya. Setiap jenis

sistem dorong memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi performa pesawat terbang, efisiensi, dan kemampuan dalam menghasilkan gaya dorong.



Gambar 7.8. Pesawat Bermesin Piston: Piper Archer III
(Sumber : (PPICurug, 2023))



Gambar 7.9. Pesawat Bermesin TURBOPROP: N219 DAN CN295
(Sumber : (PT. DI, 2023))



Gambar 7.10. Pesawat Bermesin Turbogan: B787f Dreamliner
(Sumber : (Boing, 2023))



Gambar 7.11. Pesawat Bermesin Turbojet: KF-21 Boramae, Hasil Kerjasama Indonesia Dan Korea Selatan
(Sumber : (Telisik.id, 2022))

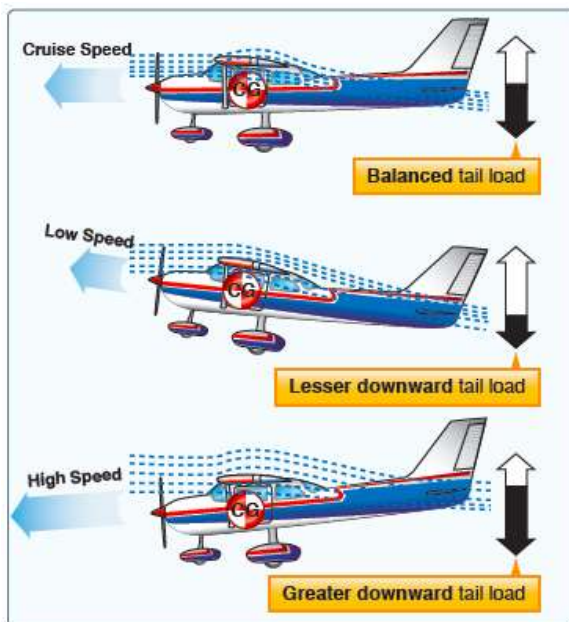


Gambar 7.12. Pesawat Terbang LISTRIK Pertama DI DUNIA: Eviation. (Sumber : Foto: Getty Images/Mathieu Lewis-Rolland dalam (oto.detik.com, 2022))

7.4 Gaya Dorong dan Performa Pesawat Terbang

Agar pesawat dapat mulai bergerak, daya dorong harus diberikan dan lebih besar daripada gaya hambat. Pesawat terus bergerak dan menambah kecepatan hingga daya dorong dan

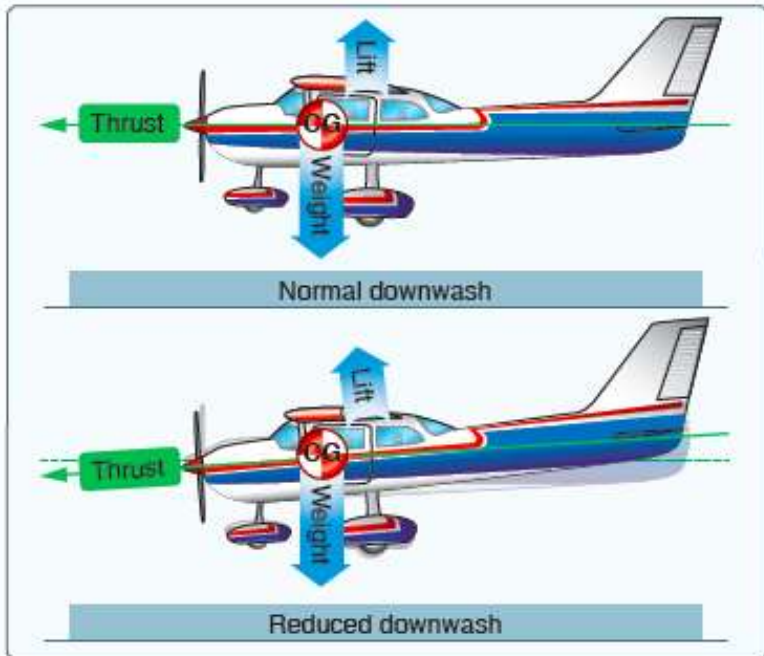
hambatannya sama. Untuk mempertahankan kecepatan udara yang konstan, daya dorong dan hambatan harus tetap sama, seperti halnya daya angkat dan berat harus sama untuk mempertahankan ketinggian yang konstan. Jika dalam penerbangan mendarat, daya mesin berkurang, daya dorong berkurang, dan pesawat melambat. Selama daya dorong lebih kecil daripada gaya hambat, pesawat terus melambat. Sampai pada suatu titik, saat pesawat melambat, gaya hambat juga akan berkurang. Pesawat akan terus melambat hingga gaya dorong kembali sama dengan gaya hambat, di mana kecepatan udara akan stabil dan sebaliknya (FAA, 2016).



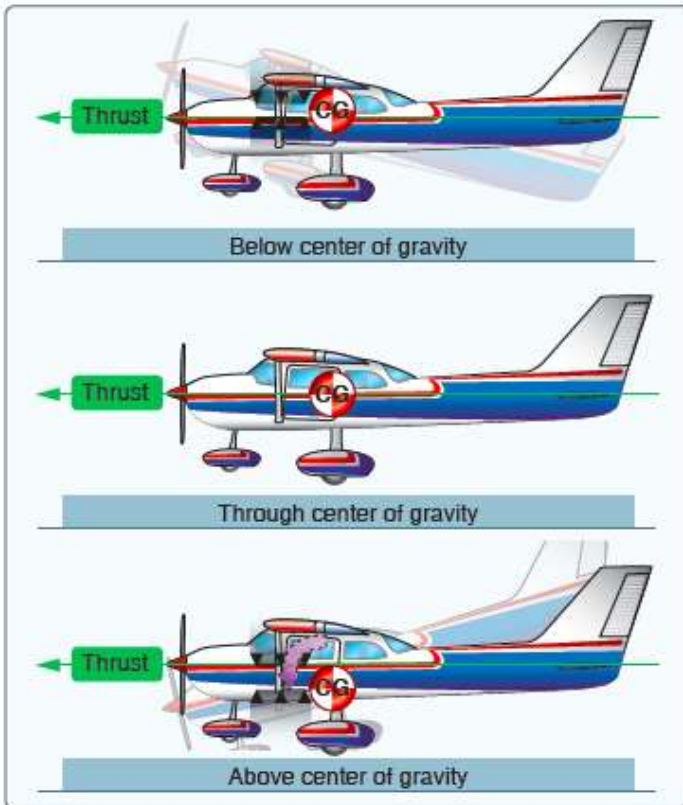
Gambar 7.13. Efek Kecepatan Terhadap DOWNWASH
(Sumber: (FAA, 2016))

Jika tenaga mesin dinaikkan, gaya dorong akan lebih besar daripada gaya hambat dan kecepatan udara meningkat. Selama

daya dorong terus lebih besar daripada gaya hambat, pesawat akan terus melaju. Ketika gaya hambat sama dengan gaya dorong, pesawat terbang dengan kecepatan udara yang konstan (Utomo, Derajat and Qomara, 2017).



Gambar 7.14. Pengurangan Power Akan Memungkinkan PITCH DOWN. (Sumber: (FAA, 2016))



Gambar 7.15. Garis Gaya Dorong Mempengaruhi Stabilitas Longitudinal. (Sumber: (FAA, 2016))

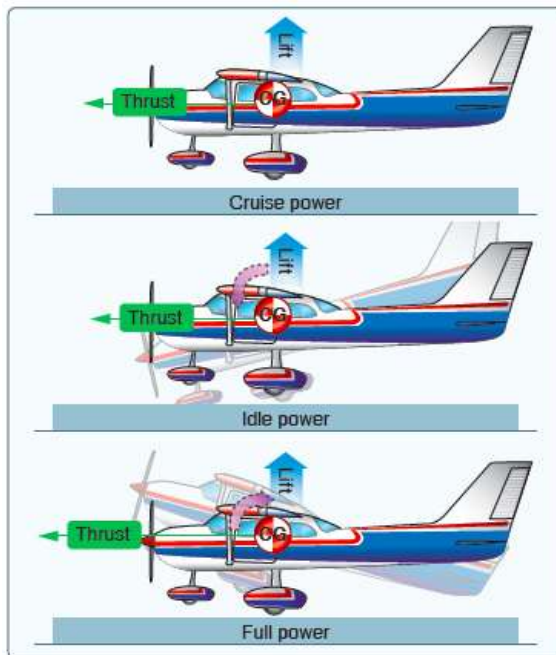
Penerbangan lurus dan mendarat dapat dipertahankan pada berbagai kecepatan. Pilot mengoordinasikan AOA dan daya dorong di semua rezim kecepatan jika pesawat akan dipertahankan dalam penerbangan datar. Fakta penting yang terkait dengan prinsip daya angkat (untuk bentuk airfoil tertentu) adalah daya angkat bervariasi dengan AOA dan kecepatan udara, oleh karena itu, AOA yang besar pada kecepatan udara rendah menghasilkan daya angkat yang sama pada kecepatan udara tinggi

dengan AOA yang rendah. Pada kecepatan penerbangan dapat dikelompokkan dalam tiga kategori: penerbangan kecepatan rendah, penerbangan jelajah, dan penerbangan kecepatan tinggi (Dixit *et al.*, 2022).

Ketika kecepatan udara rendah, AOA harus relatif tinggi jika keseimbangan antara daya angkat dan berat ingin dipertahankan. Jika daya dorong berkurang dan kecepatan udara menurun, daya angkat akan menjadi lebih kecil daripada berat dan pesawat akan mulai turun. Untuk mempertahankan ketinggian pesawat, pilot dapat meningkatkan AOA dalam jumlah yang menghasilkan gaya angkat yang sama dengan berat pesawat. Meskipun pesawat akan terbang lebih lambat, pesawat akan tetap mempertahankan ketinggian. AOA disesuaikan untuk mempertahankan daya angkat yang sama dengan berat pesawat. Kecepatan udara secara alami akan menyesuaikan hingga gaya hambat sama dengan gaya dorong dan kemudian mempertahankan kecepatan udara tersebut (asumsikan pilot tidak berusaha mempertahankan kecepatan yang tepat)(FAA, 2018).

Penerbangan lurus dan mendarat dalam kecepatan lambat memberikan beberapa kondisi yang menarik terkait dengan keseimbangan gaya. Dengan pesawat dalam posisi hidung pesawat yang tinggi, terdapat komponen vertikal dari daya dorong yang membantu mendukungnya. Untuk satu hal, pembebanan sayap cenderung lebih kecil dari yang diharapkan (Holloway, 2017).

Dalam penerbangan datar, ketika daya dorong ditingkatkan, pesawat akan melaju lebih cepat dan daya angkat meningkat. Pesawat akan mulai menanjak kecuali jika AOA diturunkan secukupnya untuk mempertahankan hubungan antara daya angkat dan berat. Waktu penurunan AOA ini perlu dikoordinasikan dengan peningkatan daya dorong dan kecepatan udara. Jika tidak, jika AOA diturunkan terlalu cepat, pesawat akan turun, dan jika AOA diturunkan terlalu lambat, pesawat akan naik (FAA, 2016).



Gambar 7.16. Perubahan Daya Dorong Mempengaruhi Stabilitas Longitudinal. (Sumber: (FAA, 2016))

Karena kecepatan udara bervariasi karena daya dorong, AOA juga harus bervariasi untuk mempertahankan penerbangan yang datar. Pada kecepatan yang sangat tinggi dan penerbangan datar, bahkan dimungkinkan untuk memiliki AOA yang sedikit negatif. Ketika daya dorong berkurang dan kecepatan udara menurun, AOA harus meningkat untuk mempertahankan ketinggian. Jika kecepatan berkurang cukup banyak, maka AOA yang dibutuhkan akan meningkat ke AOA kritis. Peningkatan lebih lanjut dalam AOA akan mengakibatkan sayap terhenti. Oleh karena itu, kewaspadaan ekstra diperlukan pada pengaturan daya dorong yang berkurang dan kecepatan rendah agar tidak melebihi sudut serang kritis. Jika pesawat dilengkapi dengan indikator AOA,

indikator ini harus direferensikan untuk membantu memonitor kedekatan dengan AOA kritis (FAA, 2016).

Beberapa pesawat memiliki kemampuan untuk mengubah arah daya dorong daripada mengubah AOA. Hal ini dilakukan dengan memutar mesin, merubah sudut baling-baling atau dengan mengarahkan gas buang.

7.5 Kesimpulan

Dalam bab ini, kita telah membahas prinsip dasar gaya dorong pada pesawat terbang, jenis-jenis sistem dorong, faktor-faktor yang mempengaruhi gaya dorong dan performa pesawat terbang, serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi mesin pesawat terbang.

Dari pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa gaya dorong sangat penting dalam operasi pesawat terbang dan memiliki hubungan yang erat dengan performa pesawat terbang. Berbagai faktor seperti teknologi mesin, suhu udara, ketinggian terbang, dan beban pesawat dapat mempengaruhi efisiensi mesin dan performa pesawat terbang.

Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang gaya dorong pada pesawat terbang dan faktor-faktor yang mempengaruhinya sangat penting dalam merancang pesawat terbang yang efisien dan dapat memenuhi kebutuhan operasional. Dengan pemahaman yang baik tentang gaya dorong, teknologi mesin, dan faktor-faktor lain yang mempengaruhinya, pesawat terbang dapat dioperasikan dengan lebih aman, efisien, dan ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aerocorner.com. 2023. *8 Types of Aircraft Propellers in Detail (Photos)*. Available at: <https://aerocorner.com/blog/types-of-aircraft-propellers/> (Accessed: 25 May 2023).
- Ardeshiri, Sh. 2019. 'The impact of physico-chemical properties of the jet fuel and biofuels on the characteristics of gas-turbine engines', *Civil Aviation High Technologies*, 22(6), pp. 8–16. Available at: <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2019-22-6-8-16>.
- Boing. 2023. *B787 Dreamliner*. Available at: <https://www.boeing.com/commercial/787/> (Accessed: 25 May 2023).
- Čestić, M., Sokolović, V. and Dodić, M. 2022. 'Technical aspects of flight safety of military aircraft', *Vojnotehnicki glasnik*, 70(4), pp. 1017–1038. Available at: <https://doi.org/10.5937/vojtehg70-39238>.
- Dixit, P. *et al.* 2022. 'Design And Analysis of Aircraft Wing', *Graduate Research in Engineering and Technology*, pp. 82–87. Available at: <https://doi.org/10.47893/GRET.2022.1133>.
- Effendi, Y., Jamaludin and Sarifudin. 2020. 'Analisis aliran udara Fan Blade pada Mesin CFM56-7B Boeing 737-800NG dengan Computational Fluid Dyanamic (CFD)', *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 4(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31000/mbjtm.v4i1.5711.g2946>.
- FAA. 2016. *The Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge FAA-H-8083-25B*. Oklahoma City: he United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airman Testing Standards Branch.

- FAA. 2018. 'Chapter 2: Aerodynamics, Aircraft Assembly, and Rigging', in *The Aviation Maintenance Technician Handbook—Airframe (FAA-H-8083-31A)*. Oklahoma City: the United States Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Airman Testing Standards Branch, pp. 29–133.
- Fatkhulloh, A. 2021. *Bahan Ajar: Pengenalan Aerodinamika*. Tangerang.
- Gimadiev, A.G., Kluev, N.I. and Stadnik, D.M. 2014. 'Calculation of Static and Dynamic Characteristics for Fuel Consumption Regulator in Aircraft Engines , Taking into Account the Hydrodynamic Force', *The Open Mechanical Engineering Journal*, (1), pp. 431–435.
- Grimme, W. and Pabst, H. 2019. 'ScienceDirect ScienceDirect The evolution of air transport networks and impacts on shortest The evolution of air transport networks and impacts on shortest travel times between NUTS-3 regions – a case study for intra- travel times between NUTS-3 regions – a case study for intra- European trips originating in Germany European trips originating in Germany', *Transportation Research Procedia*, 37(September 2018), pp. 346–353. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.202>.
- Holloway, S. 2017. 'Straight and Level', *Straight and Level* [Preprint], (1). Available at: <https://doi.org/10.4324/9781315198842>.
- Kapitanova, L., Tiniakov, D. and Makarova, L. 2020. 'Method for Determining Takeoff Weight and Thrust-To-Weight Ratio of Aircraft Variants by Decision Speed with Engine Failed at Takeoff Run', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 887(1), p. 012007. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/887/1/012007>.

- Koščáková, M., Korba, P. and Sekelová, I. 2022. 'Life Cycle Assessment and its Application to the Aviation Sector', *Acta Montanistica Slovaca*, 27(4), pp. 902–915. Available at: <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i4.06>.
- Litt, J.S. *et al.* 2003. 'Cooperative multi-agent mobile sensor platforms for jet engine inspection - concept and implementation', in *IEMC '03 Proceedings. Managing Technologically Driven Organizations: The Human Side of Innovation and Change (IEEE Cat. No.03CH37502)*. IEEE, pp. 716–721. Available at: <https://doi.org/10.1109/KIMAS.2003.1245126>.
- Liu, B. *et al.* 2022a. 'Design and Experimental Study of a Turbojet VTOL Aircraft with One-Dimensional Thrust Vectoring Nozzles', *Aerospace*, 9(11), p. 678. Available at: <https://doi.org/10.3390/aerospace9110678>.
- Liu, B. *et al.* 2022b. 'Design and Experimental Study of a Turbojet VTOL Aircraft with One-Dimensional Thrust Vectoring Nozzles', *Aerospace*, 9(11), p. 678. Available at: <https://doi.org/10.3390/aerospace9110678>.
- Milenković-Babić, M. 2018. 'Propeller thrust force contribution to airplane longitudinal stability', *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 90(9), pp. 1474–1478. Available at: <https://doi.org/10.1108/AEAT-04-2017-0104>.
- news18.com. 2020. *Understanding the 3 Types of Airplane Engines - Turbojet, Turboprop and Tubofan*. Available at: <https://www.news18.com/news/auto/understanding-the-3-types-of-airplane-engines-turbojet-turboprop-and-tubofan-2462563.html> (Accessed: 25 May 2023).
- oto.detik.com. 2022. *Pesawat Listrik Pertama di Dunia Mengudara, Sukses Terbang 8 Menit*.
- PPICurug. 2023. *Politeknik Penerbangan Indonesia Curug*. Available at: <https://ppicurug.ac.id/> (Accessed: 25 May 2023).
- PT. DI. 2023. *Dirgantara Indonesia*.

- Rizkiarjo, F. 2022. *Analisis Perbandingan Gaya Dorong (Thrust) Mesin HONEYWELL TPE331-10R-512C DAN Mesin HONEYWELL TPE331-12JR-701C Terhadap Variasi Ketinggian Terbang Menggunakan Perhitungan Termodinamika*. universitas widyatama. Available at: <https://repository.widyatama.ac.id/server/api/core/bitstreams/a1fa5357-6f1f-4bc2-8191-da674ec5a8ba/content> (Accessed: 24 May 2023).
- sustainableskies.org. 2017. *Smartflyerchallenge – Europe’s First Fly-In for Electric Powered Aircraft*. Available at: <https://sustainableskies.org/tag/pipistrel-g2-taurus-electro/> (Accessed: 25 May 2023).
- Telisik.id. 2022. *Pesawat Tempur KF 21 buatan indonesia dan Korea Selatan*. Available at: <https://telisik.id/news/jet-tempur-buatan-korsel-indonesia-siap-terbang-perdana-juli-2022> (Accessed: 25 May 2023).
- Utomo, A.B., Derajat and Qomara, A. 2017. ‘Perhitungan Gaya Dorong Pesawat N219 Dengan Menggunakan Pemodelan Matematik Dari Data Engine’, in *Seminar Nasional Iptek Penerbangan dan Antariksa XXI-2017*, pp. 382–389. Available at: <http://repositori.lapan.go.id/296/> (Accessed: 24 May 2023).
- Yang, Y. 2022. ‘Research on the Impact of Epidemic Control on Airlines—Taking Chinese and American Aviation Industries as Examples’, in *Proceedings of the 2022 7th International Conference on Financial Innovation and Economic Development (ICFIED 2022)*, pp. 1081–1085. Available at: <https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220307.178>.
- Zuhdi, M., Makhrus, Muh. and Wahyudi, W. 2021. ‘Aspek Fisika dalam Perancangan Pesawat Aeromodeling Jenis Delta Wing’, *Kappa Journal*, 5(1), pp. 49–56. Available at: <https://doi.org/10.29408/kpj.v5i1.3443>.

BAB 8

SYSTEM PROPULSI

Oleh Cahyo Wibowo

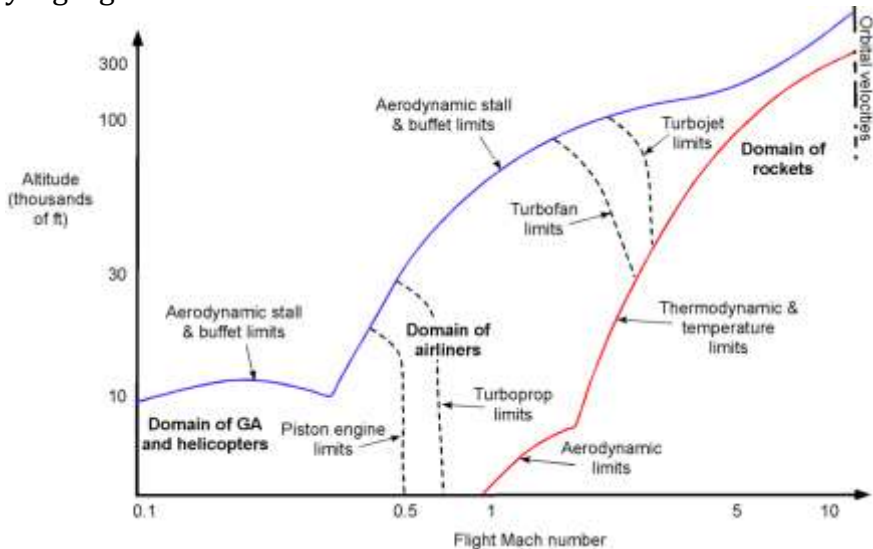
8.1 Pendahuluan

Pesawat terbang memerlukan tenaga pendorong agar dapat melakukan manuver dengan kecepatan sesuai yang disyaratkan disebut dengan sistem propulsi. Apa itu propulsi ? Kata ini berasal dari dua kata Latin: *pro* berarti sebelum atau maju dan *pellere* berarti mengemudi. Propulsi berarti mendorong ke depan atau mendorong objek ke depan. Sistem propulsi adalah mesin yang menghasilkan daya dorong untuk mendorong suatu benda ke depan. Pada pesawat terbang, gaya dorong dihasilkan melalui beberapa penerapan hukum aksi dan reaksi ketiga *Newton*. Gas, atau fluida kerja, dipercepat oleh mesin, dan reaksi terhadap percepatan ini menghasilkan gaya pada mesin. Sistem propulsi merupakan sistem penggerak/pendorong setiap pesawat terbang, prinsip dasar *propeller* adalah udara sebagai fluida kerja diakserelasikan oleh sistem , dan reaksi dari akselerasi atau percepatan ini menghasilkan gaya pada sistem yang disebut *thrust* atau gaya dorong. Sistem penggerak dan sistem propulsi berdasarkan perkembangannya antara lain piston dengan baling-baling, mesin turbin (atau jet), ramjet, roket dan yang sedang dikembangkan saat ini adalah sistem propulsi elektrik.

Dalam buku ini penulis lebih menekankan kepada jenis-jenis sistem propulsi yang digunakan sejak awal perkembangan mesin piston, turbin, rocket, ramjet dan elektrik.

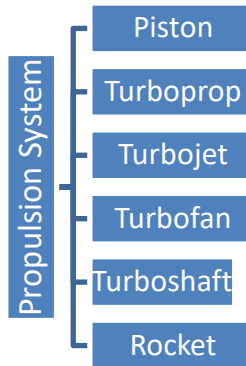
8.91 Sistem Propulsi

Fungsi dari mesin pesawat untuk dapat menghasilkan tenaga yang selanjutnya menghasilkan tenaga dorong atau *thrust* . Dengan adanya gaya dorong maka pesawat dapat terbang di udara. Besarnya kekuatan gaya dorong tergantung dengan jenis mesin yang digunakan.



Gambar 8.92. Grafik antara ketinggian dan kecepatan jelajah terhadap kebutuhan jenis pesawat dan sistem pendorong .
(Sumber : <https://eaglepubs.erau.edu/>)

Setiap tipe pesawat memiliki kebutuhan mesin yang berbeda-beda sesuai dengan misi terbang dan jumlah gaya dorong yang diperlukan agar dapat terbang.



Gambar 8.93. Klasifikasi sistem propulsi pada pesawat terbang

8.3 Piston

Mesin piston merupakan penggerak propulsi yang paling umum digunakan di semua jenis pesawat sipil maupun pesawat militer, namun demikian sistem penggerak piston memiliki keterbatasan terhadap ukuran jenis pesawat terbang karena bobot dari mesin sangat berat dan memiliki getaran yang tinggi.

Pesawat bermesin piston adalah kombinasi Propeller dan engine seperti *reciprocating (piston) engine*. Piston adalah jenis mesin pesawat yang cara kerjanya sama dengan mesin piston pada umumnya. Hanya saja konfigurasi mesin yang digunakan adalah pembakaran dalam. Biasanya lebih dikenal dengan mesin radial di mana, silinder diatur mengelilingi arah dari poros engkol. Torsi yang dihasilkan dari pembakaran digunakan untuk menggerakkan *blade* atau *propeller* pesawat.



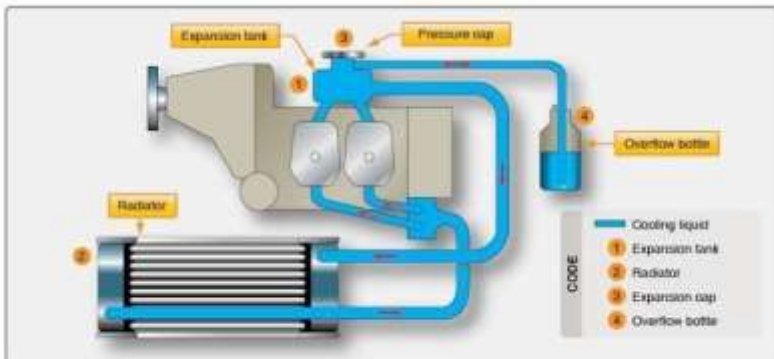
Gambar 8.94. Ilustrasi pesawat dengan pendorong baling baling, udara dari depan pesawat didorong oleh baling baling ke belakang pesawat sehingga pesawat dapat bergerak.
(Sumber : southernwing)

Awal sebelum ditemukan berbagai jenis mesin pesawat yang ada sekarang. Penggunaan mesin piston atau radial merupakan mesin yang pertama kali digunakan dalam industri penerbangan. Mesin radial memiliki banyak kelebihan bila digunakan pada pesawat. Kelebihannya tersebut adalah memiliki aturan pembakaran yang tetap, memberikan pergerakan yang lancar, tidak mudah rusak bila terjadi retak pada blok mesin. Susunan dari komponennya silinder disambungkan ke kruk as (*crankshaft*) dengan susunan poros induk dan kopling ke baling-baling. Sebuah silinder memiliki sebuah batang utama dengan sambungan langsung ke poros mesin.



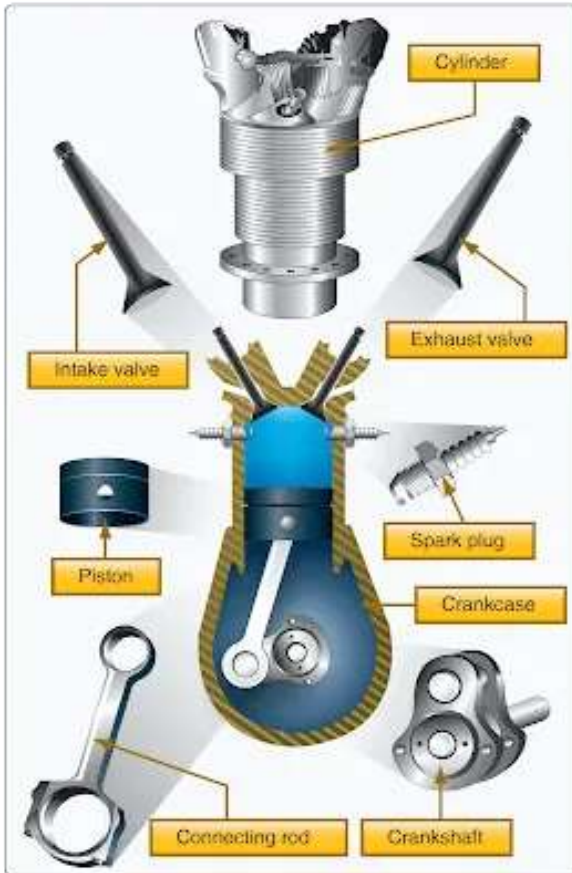
Gambar 8.95. Sistem propulsi Piston dengan mesin piston lengkap dengan propeller. (Sumber : Lycoming)

Pripsip kerja mesin piston sama dengan mesin pembakaran luar berbahan bakar *gasoline*. Tipe mesin ada 2 macam yaitu mesin dengan 4 langkah (*four stroke*) dan 2 langkah (*two stroke*). Mesin pesawat jenis piston juga memiliki sistem pendingin menggunakan air seperti mesin kendaraan.

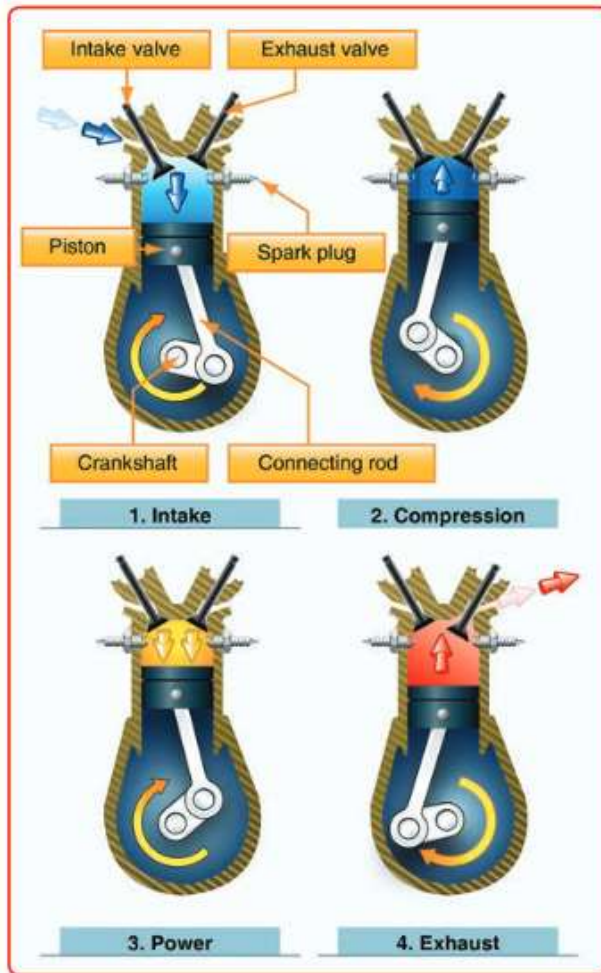


Gambar 8.96. Sistem pendingin mesin ROTAX (Sumber : Rotax)

Berikut adalah komponen dari mesin piston dengan 4 langkah



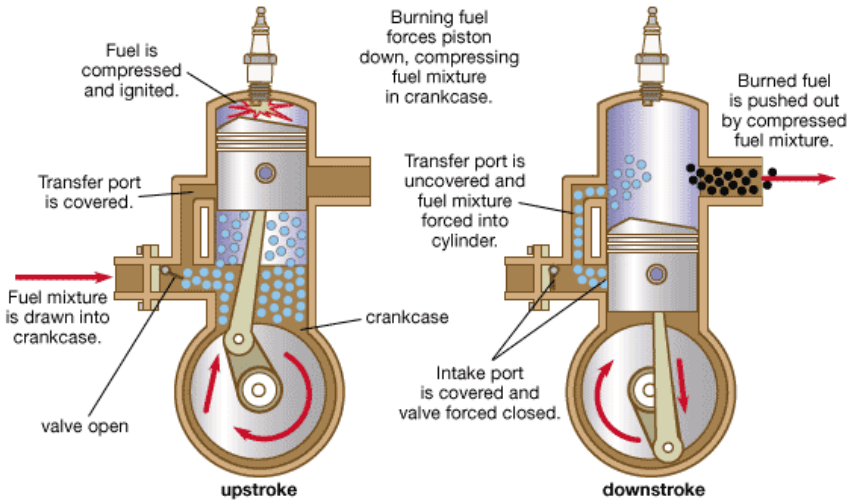
Gambar 8.97. Komponen utama mesin piston
(Sumber :FAA Safety Briefing Jan/Feb 2020)



The arrows in this illustration indicate the direction of motion of the crankshaft and piston during the four-stroke cycle.

Gambar 8.98. Siklus mesin piston 4 langkah, isap, kompresi, pengapian dan ekspansi, pembuangan gas buang.
(Sumber :FAA Safety Briefing Jan/Feb 2020)

Sedangkan mesin 2 langkah adalah sebagai berikut :



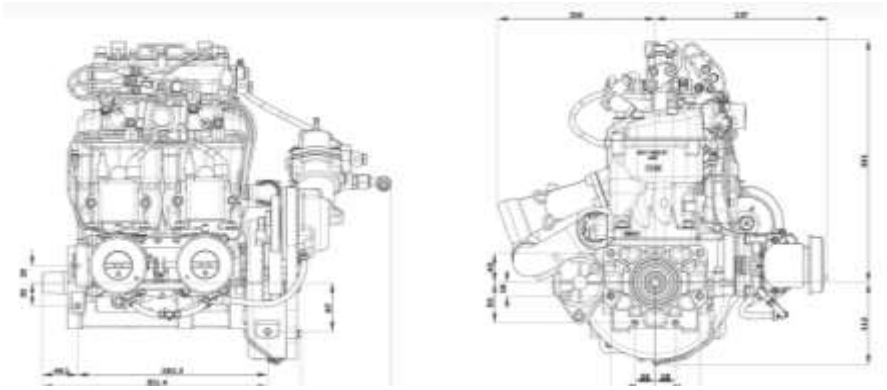
© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Gambar 8.99. Two stroke gasoline engine, 2 langkah piston satu kali pembakaran. (Sumber : Britannica)

Berikut ini adalah beberapa contoh mesin pendorong piston dari berbagai pabrik.



Gambar 8.100. Hirth Engine 2 stroke.
(Sumber : Hirth engine)



Gambar 8.101. Dimensi mesin 2 langkah 4 silinder HIRTH
(Sumber : Hirth engine)



Gambar 8.102. Mesin penggerak 4 langkah, 4 cylinder.
(Sumber : Lycoming)



Gambar 8.103. Mesin pesawat ringan Rotax 4 cylinder
(Sumber : Rotax)



Gambar 8.104. Mesin penggerak 4 langkah piston 6 cylinder
Horizontal. (Sumber : Lycoming)



Gambar 8.105. Mesin penggerak piston 8 cylinder Horizontal
(Sumber : Lycoming)



Gambar 8.106. Poros Engkol (crankshaft) mesin piston 4 cylinder
(Sumber : Lycoming)



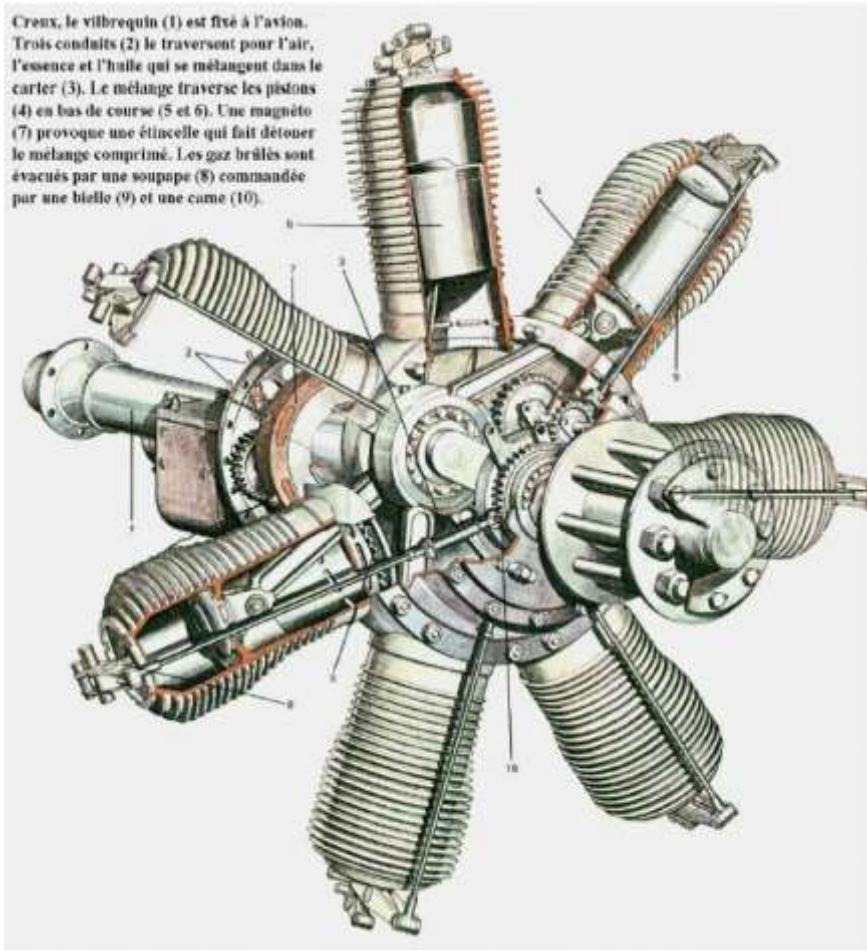
Gambar 8.107. Lycoming Thunderbolt 540 tampak atas
(sumber : lycoming)

Radial engine, atau mesin terkonfigurasi secara radial atau tersusun melingkar, sehingga dapat menghasilkan torsi yang sangat besar, selain itu karena bentuknya radial maka secara dimensi akan lebih tipis disbanding dengan mesin sebaris V atau I.



Gambar 8.108. Mesin radial 6 silinder
(Sumber : Flight-Study.com)

Cremx, le vilebrequin (1) est fixé à l'avion. Trois conduits (2) le traversent pour l'air, l'essence et l'huile qui se mélangent dans le carter (3). Le mélange traverse les pistons (4) en bas de course (5 et 6). Une magnéto (7) provoque une étincelle qui fait détouner le mélange comprimé. Les gaz brûlés sont évacués par une soupape (8) commandée par une bielle (9) et une came (10).



Gambar 8.109. Radial Engine 7 cylinder



Gambar 8.110. Radial engine Pratt & Whitney R-1340 radial engine.

(Sumber : <http://www.aviation-history.com/>)



Gambar 8.111. Mesin piston dipasang pada hidung pesawat
(Sumber : Lycoming)

8.4 *Propeller* (baling-baling)

Propeller atau baling-baling sendiri berfungsi untuk memindahkan udara dari depan mesin ke belakang mesin, karena jumlah udara yang dipindahkan melebihi massa pesawat maka pesawat akan terdorong ke depan. *Propeller* sendiri berputar dan putarannya merupakan gerakan yang mengkonversi putaran dari mesin piston atau turboprop untuk memberikan kekuatan pendorong.

Meskipun pasti ada banyak inovasi dalam desain baling-baling selama abad terakhir, sebagian besar fundamentalnya tetap tidak berubah. Wright bersaudara mengembangkan baling-baling pertama yang benar-benar efisien ketika mereka menolak ide yang sangat umum pada saat itu bahwa baling-baling pesawat harus berbentuk seperti sekrup. Sebaliknya, mereka membayangkan baling-baling yang dirancang seperti sayap

pesawat bengkok yang secara efektif "menarik" pesawat ke udara dengan menghasilkan daya dorong.

Konsep dorong baling-baling paling baik dijelaskan oleh hukum gerak ketiga Newton. Untuk setiap tindakan, ada reaksi yang sama dan berlawanan. Jadi, ketika baling-baling berputar dan menarik udara ke belakangnya, pada saat yang sama akan mendorong pesawat ke depan dengan kekuatan yang sama. Semakin banyak udara ditarik ke belakang pesawat, semakin banyak pesawat didorong ke depan. Alasan bilah baling-baling dipelintir adalah agar dapat memotong atau menggigit udara alih-alih hanya mendorongnya. Ubah putaran atau nada baling-baling dan Anda dapat mengubah jumlah udara yang ditariknya ke belakang untuk menghasilkan dorongan atau dorongan itu. Dasar-dasar desain baling-baling ini tidak banyak berubah dalam satu abad terakhir. Mengubah nada baling-baling, bahan pembuatnya, atau menambahkan lebih banyak bilah baling-baling memungkinkan peningkatan kecepatan, tingkat pendakian, pengurangan kebisingan, dan efisiensi, tetapi fisika dasarnya tetap sama.

Jenis baling-baling bermacam-macam dibedakan berdasarkan ukuran, jumlah bilah atau daun, jenis material, bentuk atau dimensi, statis atau dinamis.

Berdasarkan jumlah blade atau bilah :

- 1) 2 bilah
- 2) 3 bilah
- 3) 4 bilah
- 4) 5 bilah
- 5) 7 bilah

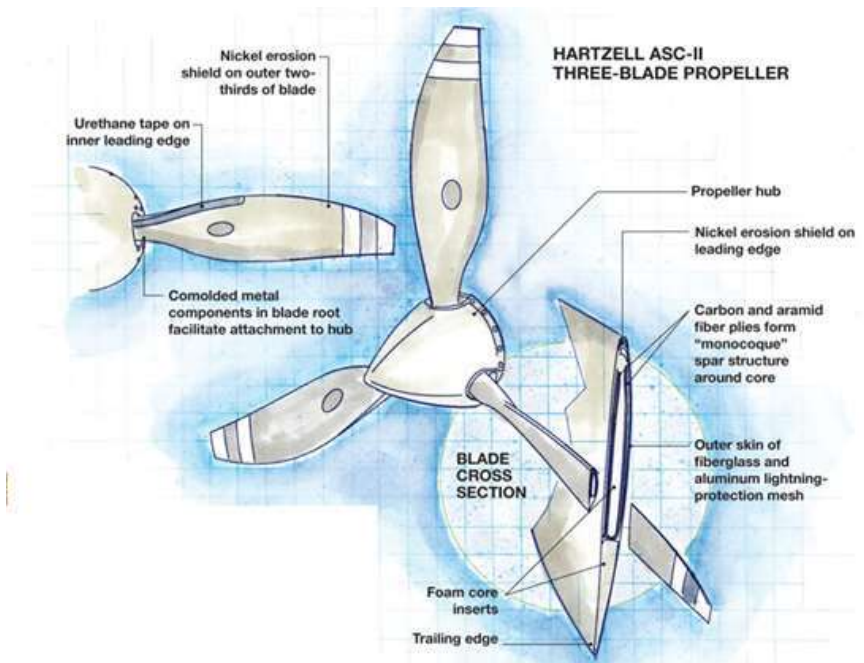
Berdasarkan putaran baling-baling terbagi menjadi 2 yaitu :

- 1) *Single propeller*, satu *propeller* dihubungkan satu poros dengan mesin penggerak tanpa merubah arah putaran baling-baling.

- 2) *Double propeller* atau disebut dengan *contra rotating* propeller, Baling-baling *contra-rotating* mengacu pada instalasi di mana dua baling-baling dipasang ke mesin yang sama dengan satu dipasang tepat di belakang yang lain. Jenis ini sangat stabil dalam putaran mesin dan mengurangi efek gaya sentripetal dari pesawat terutama pada helicopter sehingga tidak memerlukan baling-baling belakang sebagai penyeimbang. Mekanismenya 1 mesing menggunakan 1 *gearbox* pembalik putaran. `

Berdasarkan material :

- 1) Kayu (*wooden lamination*), Kayu adalah bahan utama yang digunakan untuk membuat baling-baling pesawat sebelum Perang Dunia II. Mereka sekarang biasanya hanya terlihat di hobi atau pesawat antik sesuai dengan era restorasi. Proses konstruksi baling-baling kayu terdiri dari beberapa lapisan (5-9) kayu yang direkatkan agar lebih kuat, lebih elastis, dan tidak mudah melengkung. Jenis kayu yang umum digunakan adalah yellow birch, black cherry, sugar maple, dan black walnut.
- 2) *Aluminium*, Bilah paduan aluminium lebih kuat, lebih ringan, dan lebih mudah diperbaiki serta memiliki kecepatan putaran yang lebih tinggi menjadikannya pilihan yang lebih populer.
- 3) *Composite* atau Komposit, Bilah baling-baling komposit terbuat dari serat karbon, bilah ini menawarkan bobot yang lebih ringan, lebih sedikit kebisingan, dan getaran yang lebih rendah, serta lebih tahan lama dan lebih mudah diperbaiki daripada jenis baling-baling lainnya.



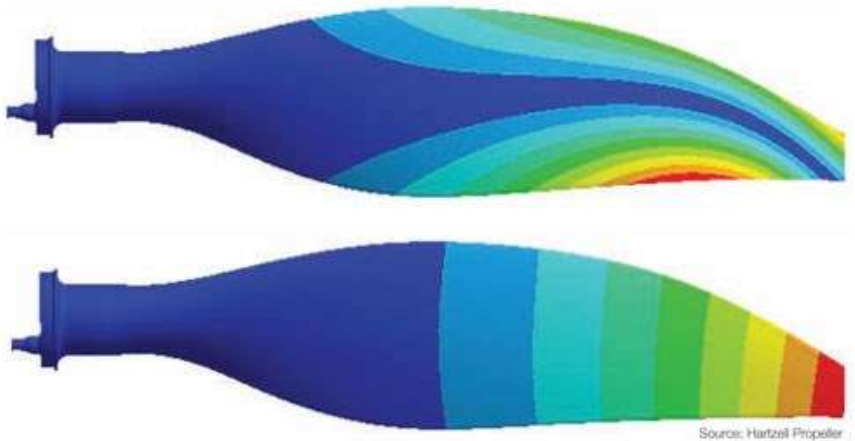
Gambar 8.112. Struktur propeller
(Sumber : Hartzell Propeller)



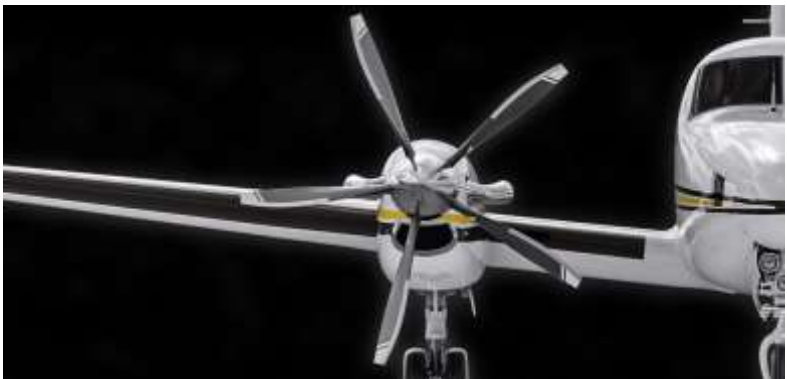
(Sumber : Hartzell Propeller)



Gambar 8.113. *Composite blade*
(Sumber : Hartzell Propeller)



Gambar 8.114. Hasil Perhitungan disimulasikan menggunakan *software* untuk mendapatkan hasil design yang dapat diaplikasikan saat pembuatan baling-baling.
(Sumber : Hartzell Propeller)



Gambar 8.115. *Five blade propeller*
(Sumber : <https://hartzellprop.com/>)

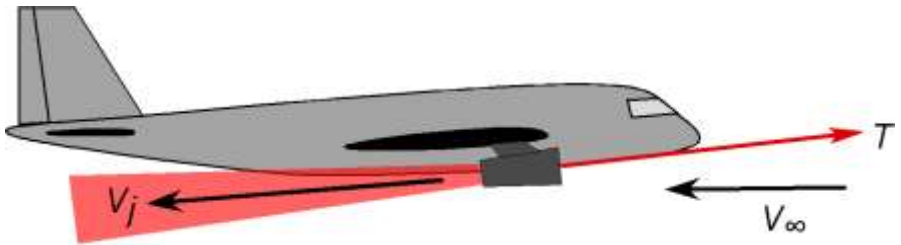


Gambar 8.116. Pilatus PC-12 with 7-blade MTV-47 Pilatus seven blade. (Sumber : Pilatus Aircraft)

Gambar diatas menunjukkan Sistem *Contra-Rotating Propeller* pada Pesawat Terbang Baling-Baling dengan 3 bilahputaran kanan dan 3 bilah putaran kiri.

8.5 Sistem propulsi Turbine

Sistem penorong dengan mesin turbin disebut sebagai air breathing engine atau mesin dengan pernafasan udara, pada dasarnya udara dikompresi oleh turbine compressor hingga tekanan tinggi kemudian diinjeksikan bahan bakar dan dilakukan pembakaran di dalam ruang bakar. Dari hasil pembakaran tersebut akan menghasilkan daya dorong sehingga mampu mendorong pesawat untuk bergerak. Mesin bernafas udara perlu menghasilkan daya dorong yang cukup untuk dapat mengatasi hambatan aerodinamis pada pesawat dan mendorong pesawat melalui udara dengan kecepatan udara yang diperlukan.



Gambar 8.117. Mesin bernafas dengan udara
(Sumber : <https://eaglepubs.erau.edu/>)

Penggerak sistem turbin mulai banyak digunakan setelah melalui evaluasi terhadap berbagai jenis dan design mesin penggerak misalnya piston dan wankel. Dalam perkembangannya pesawat terbang membutuhkan tenaga yang lebih, kecepatan, kemampuan manuver, kemampuan angkut, kemampuan jarak jelajah, efisiensi bahan bakar, berat pesawat, dimensi dan kenyamanan mengharuskan para ahli melakukan penembangan mesin penggerak yaitu mesin penggerak turbin.



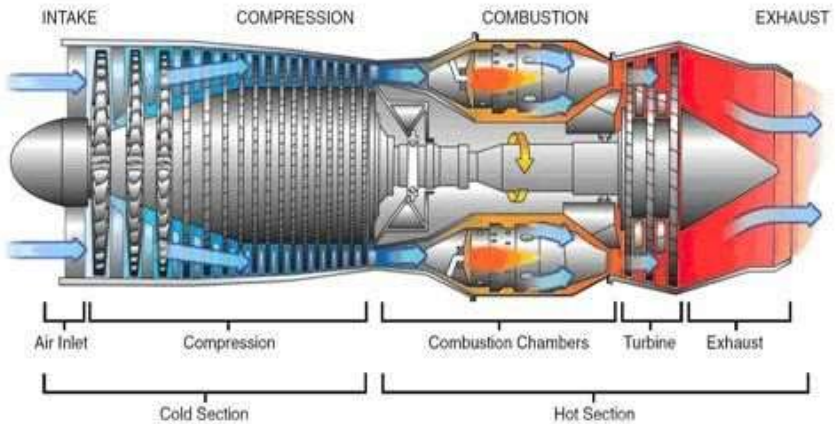
Gambar 8.118. Turbine Engine
(SUMBER : Joyplane RC)

Mesin penggerak turbin tidak menggunakan piston melainkan menggunakan komponen bilah-bilah sirip dengan jumlah yang banyak sehingga mampu menghisap udara untuk dikompresikan ke ruang bakar dengan volume besar dan tekanan yang sangat besar dan menghasilkan tenaga hasil pembakaran untuk mendorong pesawat secara maksimal.

8.6 Turbojet

Turbojet adalah jenis mesin pesawat jet sederhana dan biasanya digunakan pada tipe pesawat tempur atau pesawat tipe lainnya yang membutuhkan kecepatan tinggi. Kategori tipe pesawat yang menggunakan jenis mesin ini masuk dalam kelas supersonic atau melebihi kecepatan suara. Cara kerja dari mesin ini adalah sebagai berikut. Udara segar masuk melalui saluran udara (air inlet). Udara yang masuk kemudian dikompresi (ditekan) saat melewati bilah kompresi (*compressor blade*) secara bertingkat sehingga menghasilkan

volume dan tekanan yang sangat besar dan bilah diam (stator blade). Selanjutnya udara bertekanan tinggi akan dicampur dengan bahan bakar. Sehingga terjadi ledakan di ruang bakar dan menghasilkan daya dorong ke depan melalui bilah turbin (turbines blades) yang letaknya di belakang ruang bakar (combustor).



Gambar 8.119. Jet engine basic, dalam mesin turbojet, semua daya dorong dihasilkan dengan mengeluarkan gas panas keluar dari nosel dengan kecepatan "jet" yang tinggi.
(Sumber : (Sumber : <https://eaglepubs.erau.edu/>)

Pada Diagram mesin jet turbin gas biasa. Udara dikompresi oleh bilah kipas saat memasuki mesin, dan dicampur serta dibakar dengan bahan bakar di bagian pembakaran. Gas buang panas memberikan dorongan ke depan dan memutar turbin, yang pada gilirannya menggerakkan kompresor yang dihubungkan langsung oleh poros. Daya poros kira-kira setengah dari panas yang dihasilkan oleh pembakaran, sementara daya propulsi mencapai sekitar 40% dari daya panas yang tersedia.

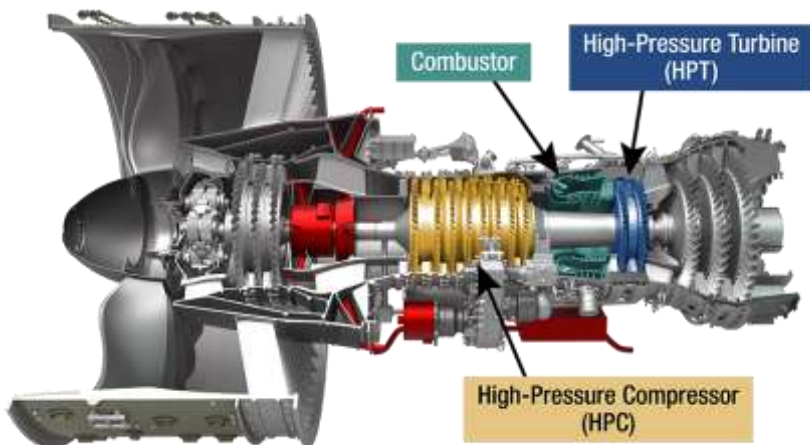


Gambar 8.120. Turbojet engine
(Sumber : <https://eaglepubs.erau.edu/>)

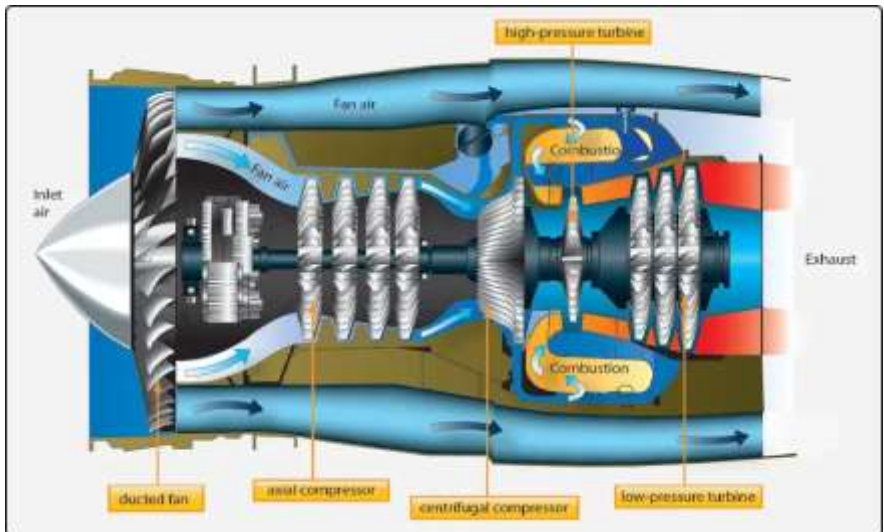
8.7 Turbofan

Turbofan yang merupakan mesin jet dengan kipas bypass yang mengarahkan udara di sekitar inti mesin. *Turbofan* adalah jenis mesin pesawat yang mirip dengan turbojet. Mesin ini terdiri dari tambahan kipas di bagian depan dan sebuah *turbojet* kecil internal yang terletak di bagian belakang untuk menggerakkan kipas.

Cara kerja dari mesin ini adalah aliran udara masuk melalui inlet (mulut mesin) dan selanjutnya akan melewati *turbojet*. Pada bagian ini akan terdapat dua saluran udara yang dipisahkan. Dimana, ada udara yang digunakan sebagai *combustor* (pembakaran) untuk menggerakkan kipas. Sedangkan udara sisanya digunakan sebagai penghasil gaya dorong.



Gambar 8.121. Tubofan jet engine
(Sumber : <https://www.nasa.gov/>)



Gambar 8.122. Bagian-bagian mesin jenis turbopan
(Sumber : <https://www.flight-study.com/>)

Mesin pendorong jenis turbofan banyak digunakan pada pesawat berbadan besar seperti ; Airbus A320 family, Airbus A340-200/-300, Boeing 737 Classic / Next Gen, Boeing KC-135R Stratotanker, McDonnell Douglas DC-8-70 dll.



Gambar 8.123. Turbofan CFM56 sebagai mesin pendorong pesawat berbadan besar. (Sumber : CFM International)

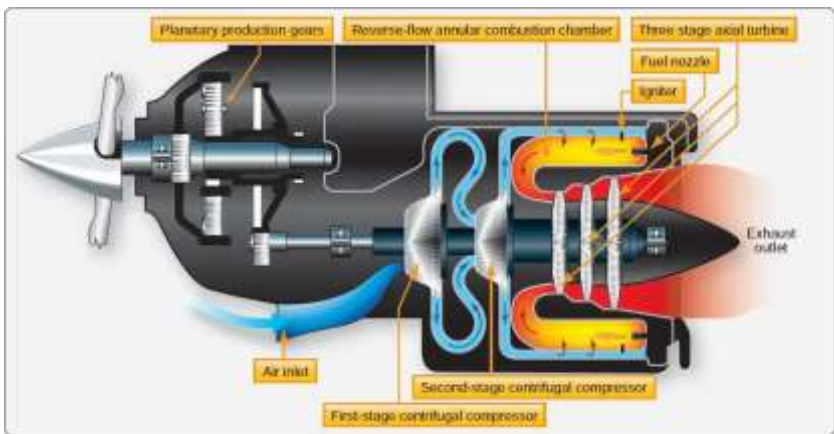


Gambar 8.124. Pesawat Boeing 737 bermesin turbofan buatan CFM.

(Sumber : <https://www.flightglobal.com/>)

8.8 Turboprop

Mesin dengan jenis turboprop prinsip kerjanya adalah mesin penggerak berupa mesin *turbine*, selanjutnya tenaga yang dihasilkan dihubungkan dengan *gearbox* untuk menurunkan putaran dan menaikkan torsi, dari *gearbox* dihubungkan ke baling baling sebagai bagian dari system propulsi yang dinamakan *propeller*.



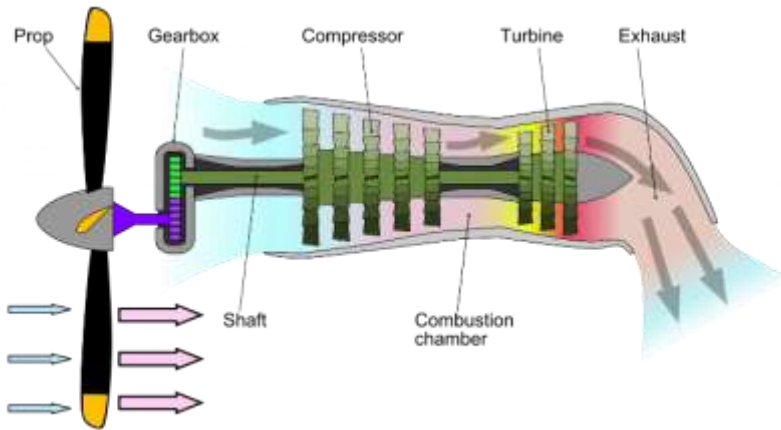
Gambar 8.125. *Fixed-shaft turboprop engine*

(Sumber : <https://www.flight-study.com/>)

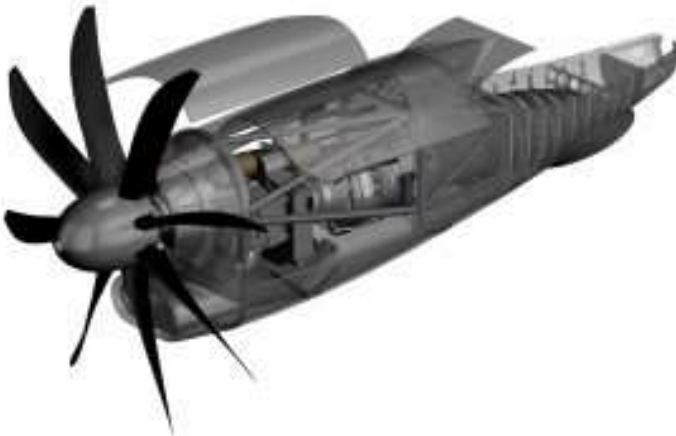
Mesin turboprop menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan jenis mesin lainnya, seperti:

- 1) Ringan
- 2) Keandalan mekanis karena bagian yang bergerak relatif sedikit
- 3) Kesederhanaan operasi
- 4) Getaran minimal
- 5) Daya tinggi per satuan berat

Penggunaan baling-baling untuk lepas landas dan mendarat



Gambar 8.126. Dalam turboprop, tahap turbin memberikan daya ke poros untuk menggerakkan baling-baling, yang menghasilkan semua gaya dorong. (Sumber : <https://eaglepubs.erau.edu/>)



Gambar 8.127. Mesin jenis turboprop
(Sumber : Pilatus)

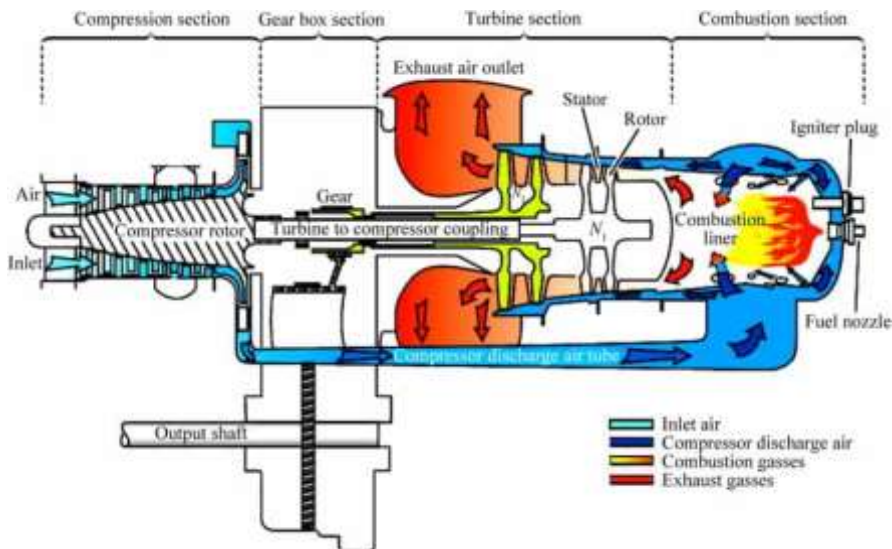
Beberapa pabrik pesawat yang menggunakan mesin jenis turboprop antara lain ; Cessna, Beechcraft, Piaggio, Piper, Pilatus, Socata dll.



Gambar 8.128. Pilatus PC-12 NGX menggunakan mesin *Twin & Turbine*. (Sumber : Pilatus)

8.9 Turboshaft

Turboshaft menghasilkan tenaga/daya di mana semua daya poros masuk ke *gearbox* reduksi dan sistem transmisi, seperti yang digunakan pada helikopter. Turboshaft adalah jenis mesin pesawat bentuk turbin gas yang dioptimalkan untuk menghasilkan daya poros. Mesin ini umumnya digunakan pada tipe pesawat *rotary wing* atau sayap putar seperti *Helicopter*. Sesuai dengan kebutuhan dalam penerbangan yang memerlukan output daya tinggi, kehandalan tinggi, ukuran kecil, dan ringan.



Gambar 8.129. Prinsip kerja mesin *turboshaft*
(Sumber : researchgate)

Cara kerja dari mesin ini sama dengan Turbojet yang menggunakan ekspansi turbin tambahan untuk mengekstrak energi panas dari knalpot. Selanjutnya akan diubah menjadi daya keluaran poros yang digunakan untuk menggerakkan bilah baling-baling agar dapat menerbangkan pesawat.



Gambar 8.130. Potongan mesin *turboshaft*
(Sumber : researchgate)



Gambar 8.131. Turboshaft Helicopter Engine | 3d model,
Engineering, Helicopter
(Sumber : Engineering, Helicopter)

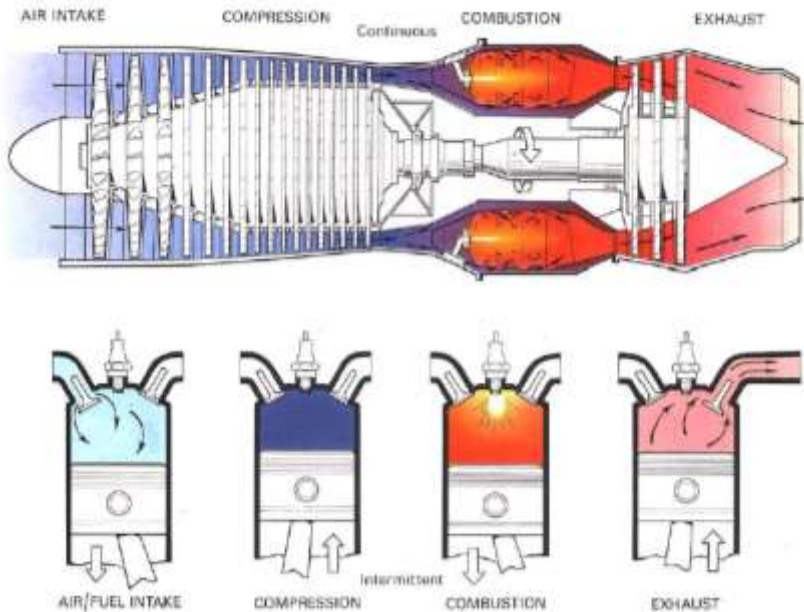


Gambar 8.132. Mesin turboprop terpasang pada helicopter
(Sumber : <https://aerocorner.com/>)



Gambar 8.133. Helicopter Airbus AS350B2, Switzerland, 2006
(Sumber: [tps://en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org))

Secara garis besar perbedaan antara mesin piston dan mesin turbin adalah secara mekanikal, namun secara siklus pembakaran relative sama, seperti gambar berikut.



Gambar 8.134. Perbandingan antara siklus *turbo-jet engine* dan *piston engine*

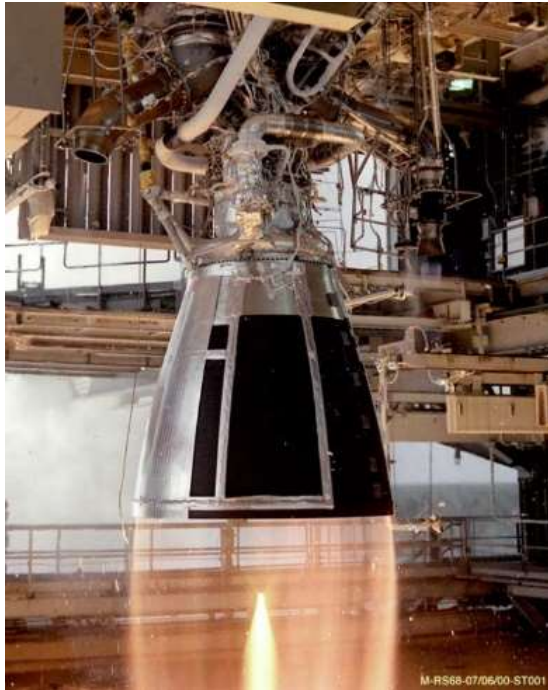
(Sumber : Ther Jet engine, Roll-Royce plc)

8.10 Rocket engine

Dasar Propulsi Roket, mesin roket digunakan untuk pesawat ruang angkasa dan roket, yang tidak bernapas di udara, sehingga akan membawa bahan bakar dan pengoksidasi. Roket juga dapat menggerakkan beberapa jenis pesawat berkecepatan tinggi. Mesin roket cair digunakan di *Space Shuttle* atau pesawat ulang alik untuk menempatkan manusia di orbit, di banyak rudal tak berawak untuk menempatkan satelit di orbit, dan di beberapa pesawat penelitian berkecepatan tinggi setelah Perang Dunia II.

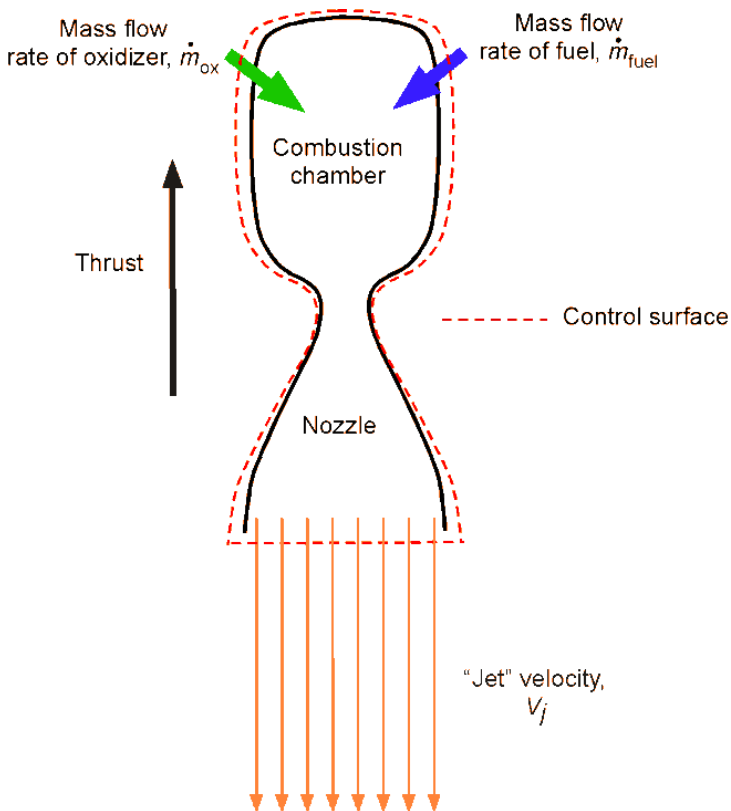


Gambar 8.135. Struktur mesin roket
(Sumber : <https://oer.pressbooks.pub/>)

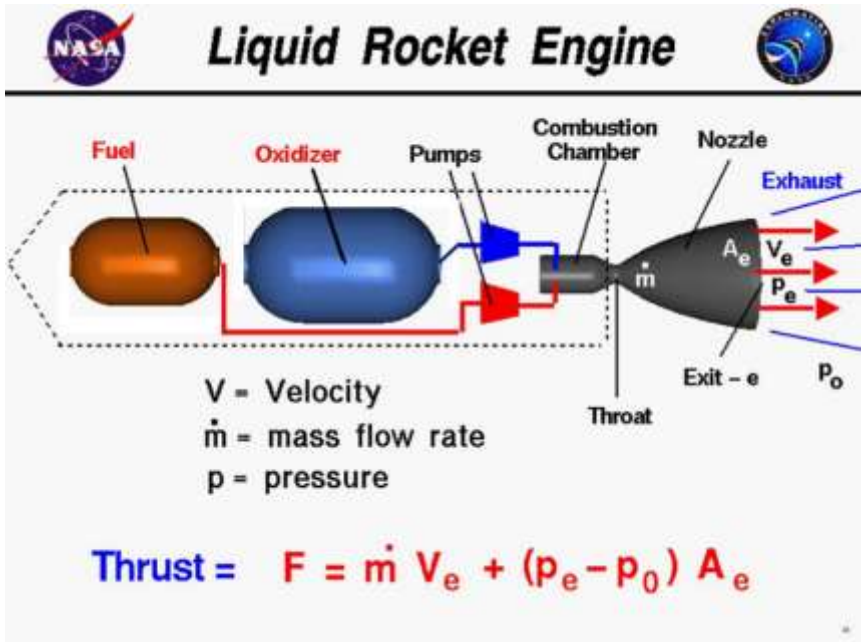


Gambar 8.136. Mesin roket yang diuji, dalam hal ini yang menggunakan hidrogen dan oksigen sebagai propelan sehingga knalpotnya hampir tidak terlihat dalam bentuk uap super panas.
(Sumber : <https://oer.pressbooks.pub/>)

Prinsip pembangkitan dorong untuk mesin roket adalah dari gaya reaksi yang terkait dengan percepatan massa gas pada kecepatan tinggi, gas menjadi produk sampingan dari pembakaran bahan bakar dan pengoksidasi, sehingga meningkatkan momentum gas yang dikeluarkan. Gaya pada mesin roket kemudian berlawanan arah dengan arah kecepatan keluar gas sesuai dengan hukum III Newton. Perhatikan bahwa tidak ada aliran massa ambien eksternal ke dalam mesin, seperti yang akan terjadi pada mesin yang menghirup udara.

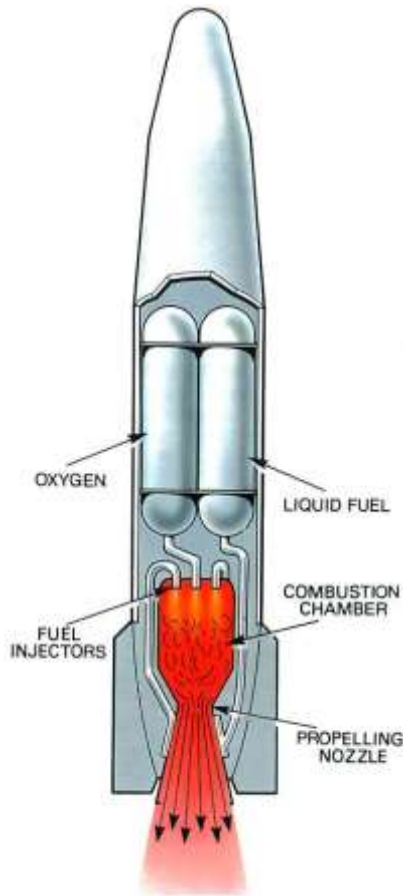


Gambar 8.137. Prinsip pembangkitan dorong untuk mesin roket
(Sumber : <https://oer.pressbooks.pub/>)



Gambar 8.138. Mesin roket berbahan bakar cair
 (Sumber : <https://www.grc.nasa.gov/>)

Pada mesin roket berbahan bakar cair, bahan bakar yang disimpan dan oksidator yang disimpan dipompa ke dalam ruang pembakaran untuk dicampur dan dibakar. Pembakaran menghasilkan sejumlah besar gas buang pada temperatur dan tekanan tinggi. Knalpot panas dilewatkan melalui nosel yang mempercepat aliran. Gaya dorong dihasilkan menurut hukum gerak ketiga Newton.



Gambar 8.139. Aplikasi mesin roket pada roket ruang angkasa.
(Sumber : Rolls-Royce plc, The Technical Publications
Department)

8.11 Electric propulsion

Electric propulsion merupakan system penggerak saat ini dan masa yang akan datang, pesawat terbang dengan penggerak motor listrik awalnya hanya digunakan sebagai pesawat replica dalam bentuk mainan anak-anak ataupun sekedar hobi

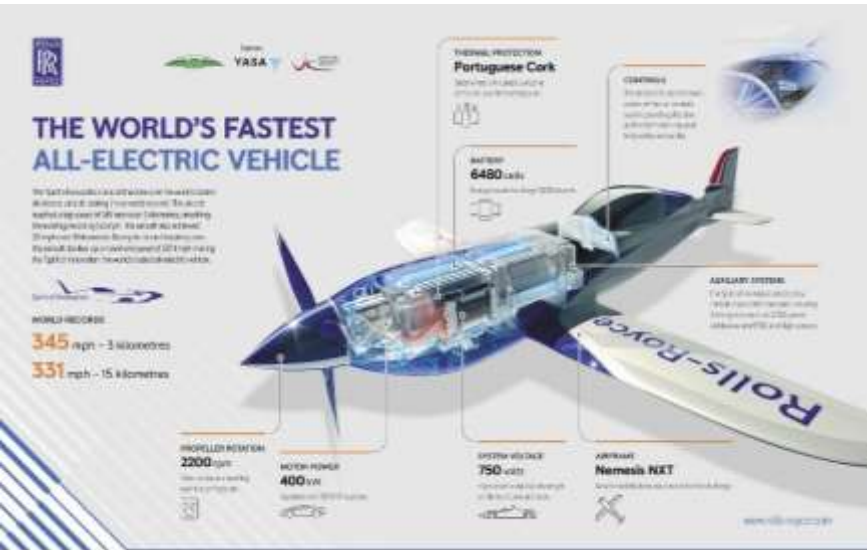
aeromodelling , namun dengan berjalannya waktu pesawat terbang dengan tenaga *battery* semakin pesat seiring dengan perkembangan kebutuhan bidang sipil maupun militer. Bidang militer digunakan untuk pengintaian, *rescue* , deteksi musuh, peyergapan atau perang secara langsung misalnya *drone kamikaze* yang digunakan sebagai *self destroyer* saat menyerang musuh, bidang pertanian dan energi menggunakan drone untuk survey dan pemetaan serta pengawasan. Kelistrikan komunikasi dan informasi, digunakan untuk merekam kejadian secara langsung maupun tidak langsung ditempat yang sulit dijangkau. Bidang promosi, dapat digunakan sebagai bahan promosi suatu product tertentu dan masih banyak lagi.



Gambar 8.140. Contoh pesawat kecil jenis penerbangan umum, yang ditenagai oleh motor listrik yang menggerakkan baling-baling.
(Sumber : <https://oer.pressbooks.pub/>)

Berkembangnya pesawat bertenaga battery disesuaikan dengan lingkungan operasi, bobot beban yang diakung, jarak tempuh, kemampuan tidak terdeteksi oleh alat maupun oleh manusia, ukuran juga semakin kecil, dapat digunakan untuk perang

sehingga banyak industri melakukan pengembangan dengan sebesar-besarnya untuk memenuhi kebutuhan pasar.



Gambar 8.141. Contoh pesawat “all-electric” yang ditenagai oleh baterai dan motor listrik bertenaga 400 kW yang menggerakkan baling-baling.
(Sumber : Rolls-Royce)



Gambar 8.142. Instalasi Motor listrik dengan propeller pada *Rolls-Royce*
(Sumber : Rolls-Royce)



Gambar 8.143. Electric Propulsion Rolls-Roys saat terbang
(Sumber : Rolls-Royce)

Selain itu aplikasi untuk kendaraan udara tak berawak (UAV: *unmanned aerial vehicle*), umumnya dikenal sebagai drone, adalah pesawat tanpa pilot manusia, awak, atau penumpang di dalamnya.



Gambar 8.144. Drone pengintai untuk keperluan militer yang sedang beroperasi
(<https://www.nasa.gov/>)

Battery menyimpan daya, *battery* ini dapat diisi ulang sehingga tidak memerlukan motor bakar sebagai penggerak utama, daya simpan *battery* sangat mempengaruhi kemampuan jelajah dan waktu jelajah serta kemampuan angkut misalnya persenjataan ataupun alat untuk survey. *Power controller* dan *motion controller* yang berfungsi untuk mengontrol pesawat dari jarak jauh. Motor listrik DC sebagai penggerak, propeller yang terbuat dari serat composite agar ringan dan tidak terdeteksi oleh radar. Radar, berfungsi untuk mendeteksi jika ada obyek di sekitarnya yang dapat mengganggu fungsi dan misi. Persenjataan, jika dipergunakan untuk kebutuhan militer maka penggunaan drone akan sangat mengurangi resiko terjadinya korban dan mengurangi biaya operasional.



Gambar 8.145. Bagian-bagian dari UAV
(<https://www.nasa.gov/>)

Namun, menggunakan mesin listrik untuk propulsi pesawat memiliki banyak tantangan. Tantangan utamanya adalah menyimpan semua energi yang dibutuhkan untuk penerbangan, yang membutuhkan baterai. Namun, baterai berat dan besar, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah, dan juga harus dihubungkan bersama dan ke motor menggunakan kabel yang berat. Bahan bakar fosil memiliki penyimpanan energi per satuan berat yang jauh lebih tinggi, yang disebut densitas energi, dibandingkan dengan apa yang dapat disimpan dalam baterai, sekitar dua puluh kali lipat. Masa pakai baterai juga cukup singkat karena tekanan kimiawi dan termal di dalam baterai yang disebabkan oleh siklus pengosongan yang relatif cepat terkait dengan penarikan daya yang diperlukan untuk penerbangan. Paket baterai cenderung mahal untuk diganti, siklus penggantian jauh lebih pendek daripada waktu antara perombakan mesin pembakaran internal.



Gambar 8.146. Drone Baykar buatan Turkiye
(Sumber : baykartech)

Dalam beberapa riset yang dilakukan oleh para ahli penerbangan saat ini, sistem propulsi elektri tidak hanya menggunakan battey saya sebagai penyimpan yang diisi di landasan, tetapi juga menkombinasikan battery sebagai penyimpan dan sumber energi untuk megisi daya menggunakan tenaga matahari atau solar cell. Sistem ini disebut dengan hybrid.

Solar cell ditempatkan pada saya pesawat yang memiliki bidang luas sehingga memudahkan pemasangan solar cell untuk mendapatkan hasil makximal



Gambar 8.147. Pesawat terbang dengan solar cell *Sunseeker II*
(Sumber : <https://www.solar-flight.com/>)



Gambar 8.148. Pengembangan pesawat dengan tenaga surya
SunseekerDuo
(Sumber : <https://www.solar-flight.com/>)

8.12 Penutup

Efisiensi sistem propulsi sangatlah penting, hal ini berkorelasi langsung dengan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya dorong dan efisiensi aerodinamis dari sistem propulsi. Secara umum, lebih efisien secara aerodinamis untuk menghasilkan dorongan dengan memiliki laju aliran massa yang besar dengan kecepatan keluar yang lebih rendah. Untuk tujuan ini, *turbofan* dan *turboprop* adalah pilihan yang menarik untuk menggerakkan berbagai jenis pesawat terbang dari ukuran kecil hingga ukuran besar. Sementara konsep propulsi listrik untuk pesawat masih sangat baru, kemungkinan besar mereka akan melihat penggunaan yang lebih luas dalam beberapa dekade mendatang, setidaknya untuk pesawat yang lebih kecil atau untuk konsep VTOL yang digunakan untuk mobilitas perkotaan. Selain itu sistem propulsi diharapkan semakin dapat menguangi emisi gas buang, mengurangi carbon foot print serta lebih ramah lingkungan untuk mempertahankan kelangsungan lingkungan hidup.

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M. & Rahdiana, N., 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), pp. 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B. & Dewadi, F. M., 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik* , IV(1), pp. 20-27.
- Abbas, A. et al., 2020. *Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques*. Medan, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- Anon., n.d. [Online].
- Biantoro, B., 2023. *Merdeka.com*. [Online]
Available at: <https://www.merdeka.com/teknologi/hebat-china-kembangkan-reaktor-nuklir-terkecil-di-dunia.html>
[Accessed 12 Oktober 2016].
- Dewadi, F. M., 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*, Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M., 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), pp. 13-23.
- Dewadi, F. M., 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*. Bandung: Indie Press, pp. 1-8.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D. & Maulana, E., 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS*, Volume XIV, pp. 129-138.

- Dimiyati, D. et al., 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR)*, I(1), pp. 96-107.
- ETICON, 2021. *eticon.co.id*. [Online]
Available at: <https://eticon.co.id/mengenal-panel-surya/>
[Accessed 2 September 2021].
- Hall, N., 2021. <https://www.grc.nasa.gov>. [Online]
Available at: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/bgp.html>
[Accessed 1 May 2023].
- K. et al., 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), pp. 96-103.
- Leishman, J. G., 2023. <https://eaglepubs.erau.edu/>. [Online]
Available at: <https://eaglepubs.erau.edu/introductiontoaerospaceflightvehicles/>
[Accessed 1 May 2023].
- Leishman, J. G., n.d. Introduction to Aerospace Flight Vehicles. In: *Introduction to Aerospace Flight Vehicles, Module IX: Details of Propulsion Systems*. s.l.:s.n.
- M., Dewadi, F. M., A. & Sigalingging, W. S., 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), pp. 101-118.
- M., 2020. *Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar*. Malang, Universitas Widyagama Malang.
- Meliyani, R. et al., 2022. *Pengantar Matematika*. Indonesia, Patent No. 000409479.

- Mulyadi, D. & Dewadi, F. M., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, II(1), pp. 6-12.
- Nanda, R. A. et al., 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), pp. 43-55.
- Saeed Farokhi, P., 2015. *Aircraft Propulsion , Aerospace Engineering Department, The University ofC, USA.*, 1st ed. Kansas: Wiley.
- S. et al., 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), pp. 19-27.
- Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), pp. 60-65.
- Wood, A., 2022. <https://aerotoolbox.com>. [Online] Available at: <https://aerotoolbox.com/thrust-cruise-speed/> [Accessed 1 may 2023].

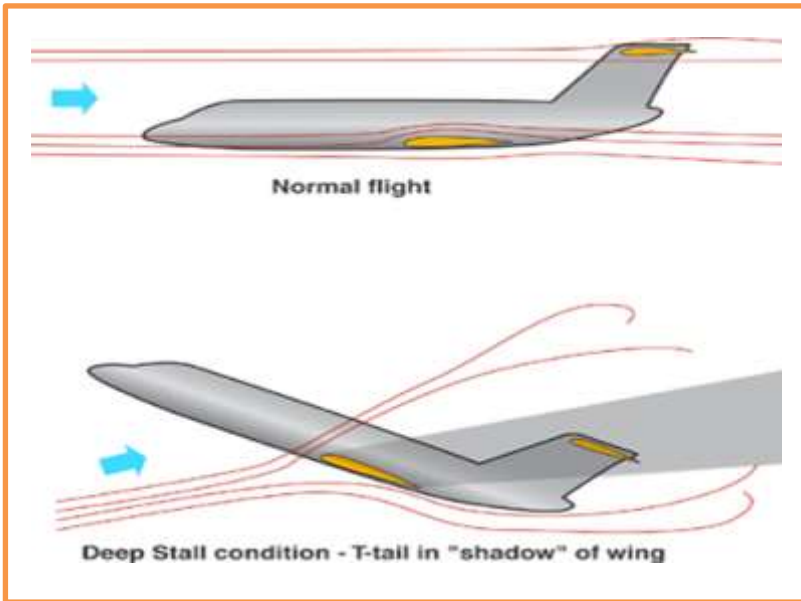
BAB 9

KESETIMBANGAN PESAWAT TERBANG

Oleh Badaruddin Anwar

9.1 Konsep Aerodinamis Pesawat

Suatu gaya yang dihasilkan oleh Gerakan suatu objek melalui udara, maka terdapat gerakan relative antara udara dan permukaan benda. ilmu yang mempelajari tentang gaya-gaya yang dihasilkan oleh gerakan udara tersebut dinamakan ilmu aerodinamika, menurut aliran aerodinamika berdasarkan jenisnya dapat dikelompokkan menjadi; *subsonic*, *hipersonic*, *supersonic*. penerapan ilmu aerodinamika digunakan dalam mendesain pesawat agar kecepatan yang lebih tinggi dan efisiensi bahan bakar. aspek yang berhubungan dengan perancangan bodi pesawat adalah aerodinamika. Aerodinamika tersebut mempelajari dinamika dari gas-gas, dan interaksi antara objek yang bergerak dengan didalam medium udara.



Gambar 9.1. Aerodinamika pesawat

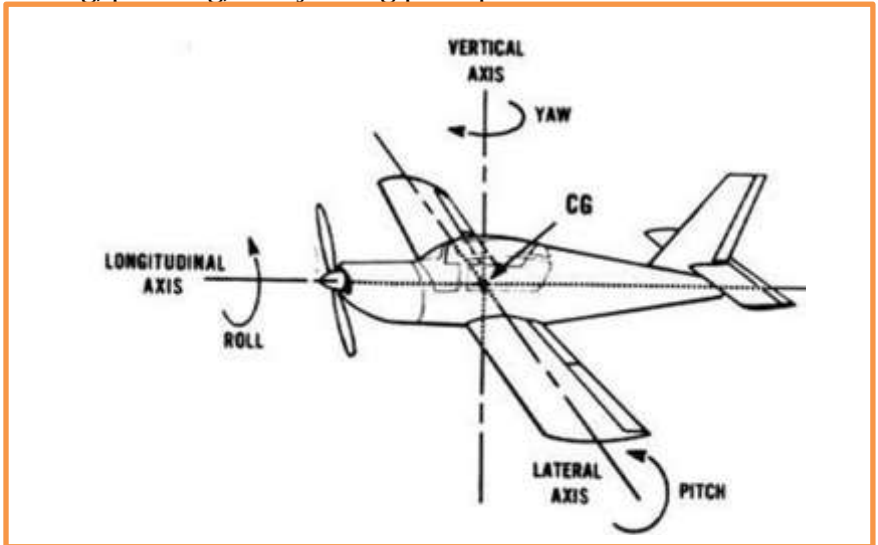
(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Klasifikasi aerodinamis dibagi menjadi dua macam yaitu aerodinamis eksternal dan aerodinamis internal. Aerodinamis eksternal merupakan suatu aliran di sekitar suatu benda padat dalam berbagai bentuk dan dimensinya. sedangkan aliran melalui bagian dalam benda padat disebut aerodinamis internal, misalnya aliran udara melalui mesin jet. karakteristik perubahan aliran udara ditentukan pada rasio aliran dengan kecepatan suara. Rasio ini disebut *Mach Number*, berdasarkan nomor mach, persoalan tentang aerodinamika dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu; subsonic jika kecepatan aliran lebih kecil dari kecepatan suara, *transonic* jika kecepatan sama dengan kecepatan suara, *supersonic* jika karakteristik aliran lebih besar dari

kecepatan suara dan disebut hipersonic jika aliran sangat jauh lebih besar dari pada kecepatan suara.

9.2 Gaya-gaya yang Berpengaruh Pada Kestimbangan Pesawat Terbang

Gaya yang bekerja pada pesawat terbang yang dapat diubah dengan menggunakan tenaga (*power*) dan kendali pesawat adalah gaya dorong (*thrust*), gaya tahan/hambat (*drag*), gaya angkat (*lift*) dan berat pesawat (*weight*). gaya-gaya tersebut mempengaruhi kestimbangan saat melakukan penerbangan baik terjadinya rolling, pitching, dan yawing pada pesawat tersebut.



Gambar 9.2. Sumbu Pesawat Terbang

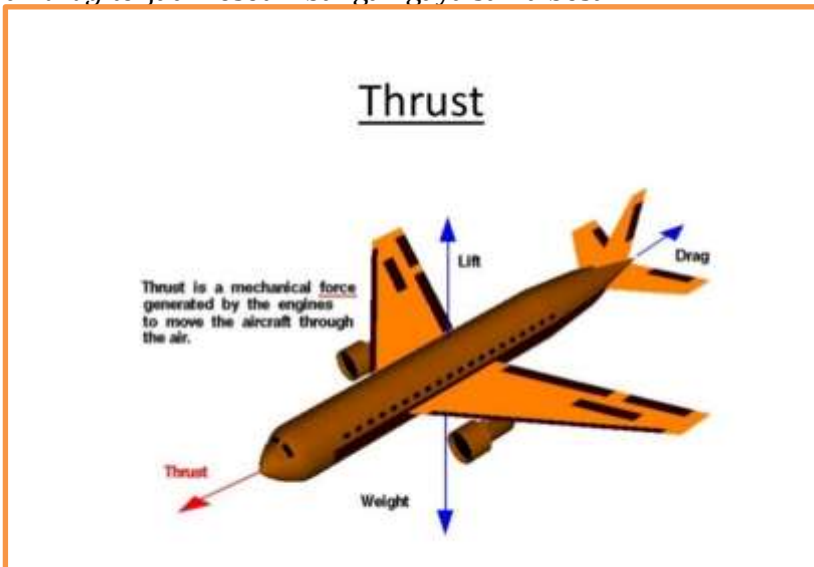
(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Keempat gaya tersebut berpengaruh pada kestimbangan pesawat terbang, dengan reaksi gaya tersebut terjadi, seperti berikut: (1) Gaya Dorong (*Thrust*) yang mendorong pesawat ke depan, (2) Gaya Hambat (*Drag*) yang arahnya ke belakang pesawat

dan berlawanan arah dengan gaya dorong yang arahnya kedepan, (3) Gaya Angkat (*Lift*) yang mengangkat pesawat ke atas berlawanan arah dengan (4) Gaya Gravitasi yang bekerja dengan arah kebawah pada pesawat sehingga menimbulkan bobot (*weight*) yang arahnya selalu kebawah.

9.2.1 Gaya Dorong (*Thrust Force*)

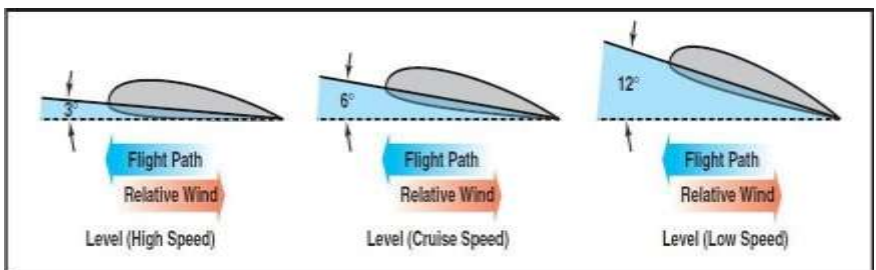
Gaya *Thrust* adalah suatu gaya dorong yang ditimbulkan oleh mesin (*power plant*)/ baling-baling yang arahnya kedepan, gaya tersebut adalah kebalikan dari gaya tahan/hambat (*drag*). gaya ini bekerja sepanjang sumbu longitudinal, *thrust* bekerja parallel pada sumbu longitudinal. namun, tidak selalu terjadi, seperti halnya pesawat sebelum mulai bergerak, *thrust* harus digunakan sebagai gaya dorong untuk memulai gerak. Pesawat akan tetap bergerak dan bertambah kecepatannya sampai *thrust* dan *drag* terjadi kesetimbangan gaya sama besar.



Gambar 9.3. *Thrust*

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Untuk mempertahankan kecepatan yang tetap maka gaya *thrust* dan gaya *drag* harus tetap sama, sama dengan halnya gaya *lift* dan gaya *weight* harus sama, untuk mempertahankan suatu ketinggian yang pesawat. Jika dalam penerbangan pada kondisi datar (level) gaya *thrust* dikurangi dan mempunyai pengaruh dapat memperlambat pesawat. jika gaya *thrust* lebih kecil dari gaya *drag* maka pengaruhnya pesawat akan terus melambat hingga kecepatan pesawat (*airspeed*) tidak mampu menahan pesawat tetap di udara. Sebaliknya jika gaya *thrust* akan menjadi lebih besar dari gaya *drag*, maka pesawat akan terus bertambah kecepatannya. jika gaya *drag* sama dengan gaya *thrust*, maka pesawat akan tetap terbang dengan kecepatan yang tetap.



Gambar 9.4. Level Kecepatan

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Pada kondisi *straight* dan level (lurus dan datar) suatu pesawat terbang, maka dapat dipertahankan kondisi terbang dengan kecepatan rendah sampai dengan kecepatan tinggi. jika pesawat ditahan pada ketinggian tertentu (*level flight*), maka dapat dilakukan mengatur sudut *angle of attack* dan gaya *thrust* menjangkau semua kecepatan (*speed regim*).

Kecepatan dapat dibedakan menjadi 3 daerah (*regim*), kondisi kecepatan rendah (*low speed*), kondisi menjelajah

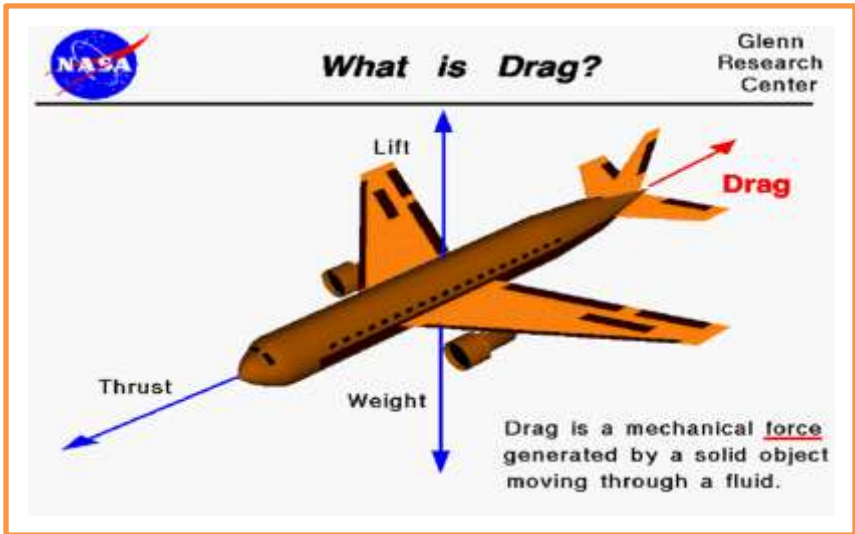
(*cruising flight*), dan kondisi kecepatan tinggi (*high speed*). pengaruh *Angle of attack* yang cukup tinggi akan menimbulkan gaya angkat bertambah besar, jika kecepatan pesawat rendah akan mempengaruhi kesetimbangan antara gaya angkat dan gaya berat, maka kesetimbangan tersebut harus selalu terjadi. Jika gaya *thrust* dikurangi berakibat kecepatan berkurang maka dapat menimbulkan efek gaya angkat yang lebih kecil dari berat dan pesawat akan mulai turun dari ketinggian tertentu. Untuk mempertahankan ketinggian tersebut, maka dapat menambah sudut *angle of attack* sebesar yang dibutuhkan, sehingga dapat menghasilkan gaya angkat yang sama dengan berat dari pesawat, dan ketika pesawat mulai terbang lebih lambat, dan pesawat akan dipertahankan ketinggiannya, maka dapat dilakukan dengan memberikan gaya *thrust* dengan sudut *angle of attack* yang sesuai.

Pada saat kondisi terbang *straight* dan *level flight*, ketika gaya *thrust* ditambahkan dan kecepatan bertambah, maka *angle of attack* harus dikurangi, untuk menjaga ketinggian terbang pesawat akan tetap berada pada ketinggian yang sama.

Jika *angle of attack* dikurangi dan terjadi pertambahan *thrust* yang diberikan, maka pesawat akan terjadi menaik (*climb*). jika mengurangi *angle of attack*, maka pengaruh gaya angkat akan berubah dan membuatnya sama dengan berat dan jika dilakukan dengan benar maka dapat terjadi pesawat pada kondisi *level flight* (tidak mengubah ketinggian).

9.2.2 Gaya Hambat (*Drag Force*)

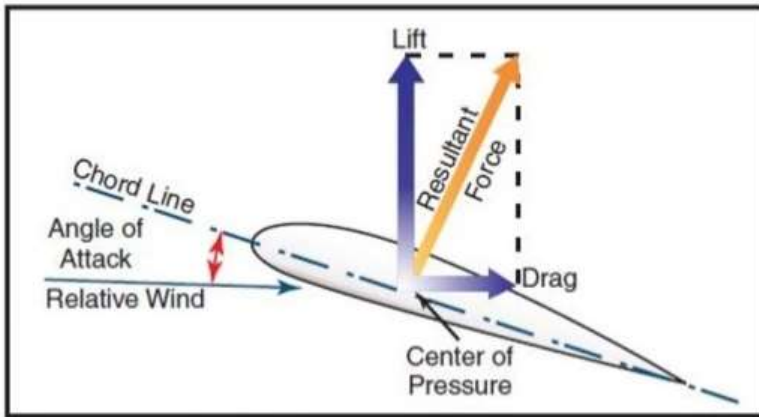
Drag force adalah merupakan gaya hambat yang arahnya ke belakang menahan pesawat terjadi gerak maju yang disebabkan oleh efek aliran udara pada sayap, *fuselage*, dan objek-objek lain. gaya *Drag* adalah berlawanan arah gaya *thrust* dan arahnya kebelakang paralel dengan arah angin relatif (*relative wind*).



Gambar 9.5. Drag

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Drag atau gaya hambat pada kondisi terbang, terdiri dari dua jenis, yaitu; ***parasite drag*** dan ***induced drag***. *Parasite drag* tidak berfungsi memperbaiki kondisi pesawat untuk dapat terbang, sedangkan *induced drag* yang dihasilkan oleh efek kerja pada sayap, dapat menimbulkan gaya angkat (*lift*). Gaya *induced drag* tersebut dapat disesuaikan dengan besarnya beban atau gaya berat (*weight*) yang dapat diangkat akibat dari hasil kerja sayap yang dapat diadaptasikan dengan kondisi penerbangan.



Gambar 9.6. *Induced Drag*

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Parasite drag dibedakan atas dua jenis, yaitu:

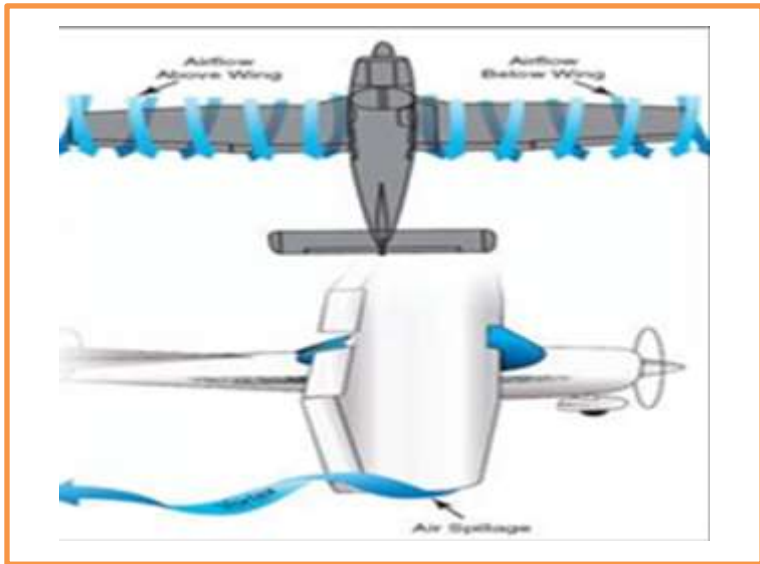
1. *Form Drag*: yang terjadi karena ada gangguan aliran udara melalui badan pesawat (*fuselage*). *form drag* pada saat merancang pesawat, paling mudah untuk dikurangi. semakin kecil *form drag*, maka Semakin *streamline* suatu bentuk pesawat, sehing untuk mengurangi *parasite drag* bentuk airfoil pesawat dapat dibuat semakin *streamline*.
2. *Skin friction*: gaya hambatan yang terjadi akibat gesekan pada kulit pesawat.

Parasite drag yang paling sulit untuk dikurangi adalah *skin friction*, karena permukaan bendanya yang kasar. permukaan yang dibuat dengan mesinpun mempunyai permukaan yang kasar dan tidak rata, jika diperiksa dengan kaca pembesar. Permukaan tersebut, akan membelokkan aliran *streamline* udara yang terjadi pada permukaan benda tersebut. efek ini dapat menghasilkan hambatan pada aliran udara. hal ini perlu ditambahkan pada waktu membahas tentang *parasite drag* ketika merancang pesawat, yaitu;

Parasite drag menggabungkan efek dari *form drag* dan *skin friction*. Gabungan tersebut adalah *interference drag*. efek dari *interference drag* dapat terjadi apabila dua benda diletakkan bersebelahan maka turbulensi yang terjadi dapat lebih besar dibandingkan jika kedua benda tersebut terpisah.

Gaya angkat yang dihasilkan oleh sifat aerodinamik sayap dalam penerbangan, menimbulkan konsekuensi *drag* selalu muncul, gaya angkat dapat dihasilkan dari sayap pesawat dengan menggunakan energi dari aliran udara bebas. saat aliran udara menimbulkan efek gaya angkat, maka tekanan udara di permukaan bawah sayap lebih besar dari pada tekanan pada permukaan diatas sayap, sehingga menghasilkan aliran udara akan cenderung mengalir dari daerah bertekanan tinggi dari ujung sayap (*wingtip*) ke tengah pada daerah bertekanan rendah di atas sayap. diujung sayap terjadi tekanan yang seimbang, sama kuat, menghasilkan aliran lateral keluar dari bagian bawah ke bagian atas sayap.

Aliran tersebut dapat menimbulkan kecepatan yang turbulence ke udara pada ujung sayap, dan arahnya mengalir kearah belakang sayap, sehingga aliran di sekitar ujung sayap, akan berbentuk dua *vortex* yang mengalir (*trailing*) di belakang pada saat pesawat bergerak kedepan.



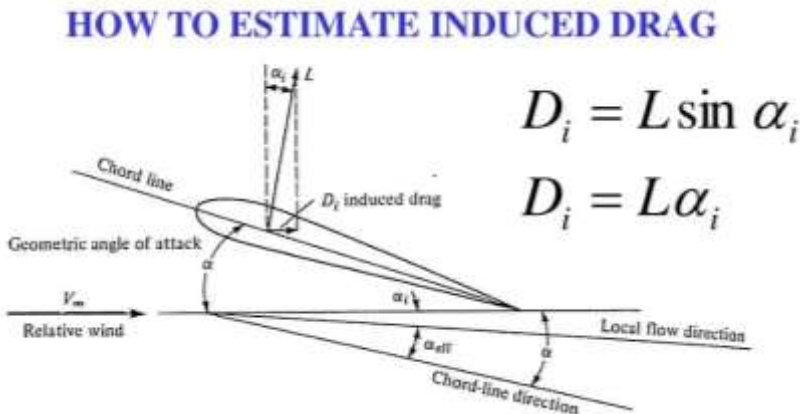
Gambar 9.7. *Vortex* pada pesawat

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Ketika pesawat dilihat dari ekornya, maka *vortex-vortex* yang bersirkulasi kebalikan arah jarum jam di sekitar ujung sayap kanan, dan searah jarum jam di ujung sayap kiri. *Vortex-vortex* tersebut, dapat berasumsi bahwa; dapat menghasilkan aliran udara ke atas, setelah melewati ujung sayap dan aliran udara di belakang *trailing edge* pada sayap ke arah bawah.

Untuk menghasilkan gaya angkat, maka aliran udara ke bawah tidak dibutuhkan. sumber *induced drag* jika semakin besar ukuran dan kekuatan *vortex-vortex* dan komponen aliran udara ke bawah setelah melewati sayap, maka semakin besar efek dari *induced drag*. Aliran udara ke bawah di atas ujung sayap, ini mempunyai efek dapat membelokkan vektor gaya angkat ke belakang, oleh karena itu gaya angkat akan agak berbelok ke belakang sejajar dengan arah udara (*relatif wind*) dan

menghasilkan komponen *lift* yang arahnya ke belakang. Inilah *induced drag*.



Gambar 9.8. *Induced Drag I* (Roskam, J, 1979)

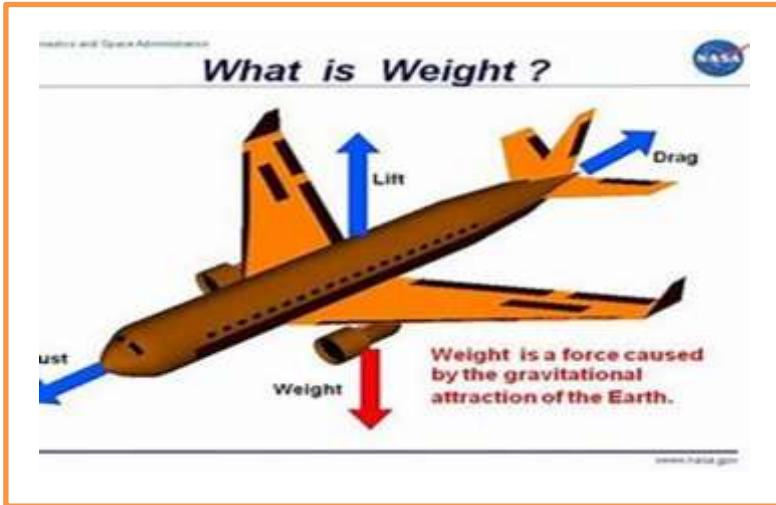
9.2.3 Gaya Berat (*Weight*)

Gravitasi adalah gaya tarik yang menarik semua benda ke pusat bumi. *Center of gravity* (CG) bisa dikatakan sebagai titik di mana semua berat pesawat terpusat. keseimbangan pesawat terjadi di keadaan/*attitude* apapun, dan pesawat terbang tersebut ditahan tepat di titik *center of gravity*. *Center of gravity* merupakan sesuatu gaya yang berpengaruh pada kestabilan sebuah pesawat terbang.

Untuk menghasilkan kemampuan yang cukup pada pesawat dapat mengembalikan keadaan pesawat terbang pada kondisi yang *equilibrium* saat seberapa jauh *Center of Pressure* (CP) akan berpindah. sehingga dapat dijadikan titik *center of gravity* di depan *center of pressure* untuk kecepatan tertentu pesawat.

Weight mempunyai hubungan yang tetap dengan *lift*, dan *thrust* dengan *drag*. *Lift* merupakan suatu gaya yang arahnya ke

atas pada sayap yang beraksi tegak lurus pada arah angin relatif (*relatif wind*).



Gambar 9.9. Weight

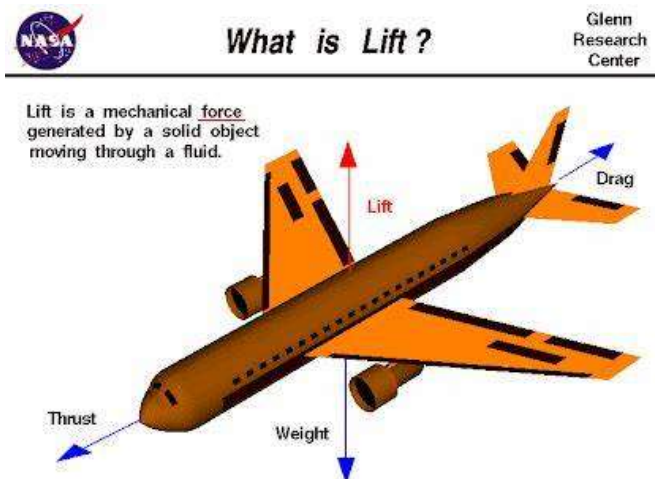
(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Gaya *Lift* dibutuhkan untuk mengangkat berat pesawat untuk terbang, berat pesawat tersebut disebabkan oleh gaya tarik bumi yang beraksi pada massa pesawat). Gaya berat (*weight*) ini beraksi ke bawah melalui *center of gravity* pesawat. Pada kondisi pesawat terbang datar dan stabil, ketika gaya angkat sama dengan *weight* maka pesawat dalam keadaan *equilibrium*. pada kondisi ini pesawat tidak akan kehilangan ketinggian. Jika gaya *lift* berkurang dibandingkan dengan gaya *weight*, maka ketinggian pesawat akan berkurang, dan jika *lift* lebih besar dari pada *weight* maka ketinggian pesawat akan bertambah.

9.2.4 Gaya Angkat (*Lift*)

Untuk mengontrol gaya *lift*, dengan cara merubah *angle of attack* dengan menggerakkan roda kemudi ke depan atau belakang. Jika sudut seret (*angle of attack*) bertambah maka *lift* akan bertambah, dan ketika *angle of attack* yang dididapai suatu pesawat maksimum, maka gaya *lift* akan hilang dengan cepat. Ini dapat menimbulkan terjadinya *stalling angle of attack* atau *burble point*.

Jikapesawat harus tetap melayang maka pesawat itu harus tetap bergerak. sehingga *Lift* sama besarnya dengan kuadrat dari kecepatan pesawat. Semakin besar gaya dorong dan gaya hambat, akan menimbulkan semakin besar gaya lift didapatkan. sesungguhnya pesawat tidak dapat terus menerus bergerak secara datar pada ketinggian tertentu, namun perlu menjaga *angle of attack* yang sama jika kecepatan ditambah, untuk mempertahankan besarnya gaya lift pesawat.



Gambar 9.10. *Lift*

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Jika gaya *Lift* akan bertambah, maka pesawat akan berubah posisi menjadi menanjak karena disebabkan pertambahan gaya angkat. Untuk menjaga agar *lift* dan *weight* menjadi seimbang dan menjaga pesawat dalam keadaan lurus dan datar (*straight and level*), kondisi tersebut adalah pesawat dalam keadaan *equilibrium*. maka *lift* harus dikurangi apabila menambah kecepatan. hal ini dapat dilakukan dengan cara mengurangi *angle of attack* agar menurunkan hidung pesawat, dan sebaliknya ketika pesawat dilambatkan, maka kecepatan dikurangi untuk pertambahan *angle of attack*, untuk menjaga gaya *lift* yang cukup menahan pesawat. Ada batasan sebesar apa *angle of attack* bisa ditambah untuk menghindari *stall*. gaya *lift* berhubungan langsung terhadap *wing area*/lebar sayap, yang terpenting ialah tidak ada perubahan pada bentuk luas sayap atau *planform*.

9.2.5 Keseimbangan Gaya

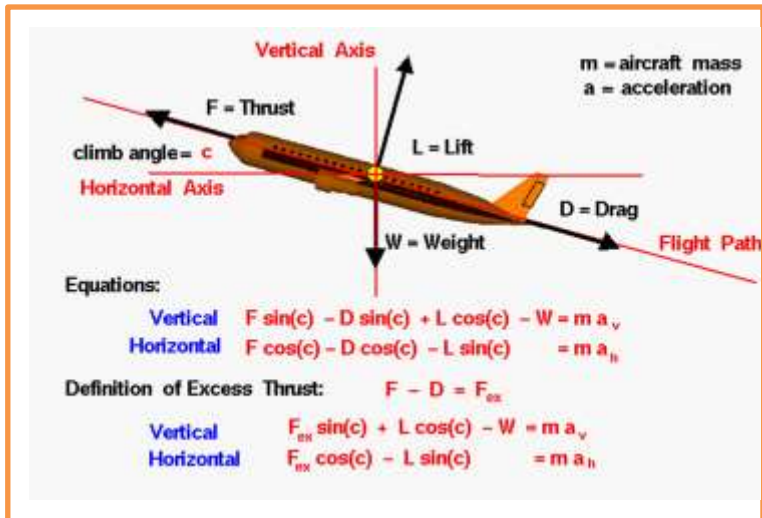
Prinsip pada saat pesawat mengudara, ada empat gaya utama yang bekerja pada pesawat, yaitu gaya dorong (*thrust T*), hambat (*drag D*), angkat (*lift L*), dan berat pesawat (*weight W*).

Pada saat pesawat sedang menjelajah (*cruise*), maka kecepatan dan ketinggian dalam keadaan konstan, sehingga keempat gaya tersebut berada dalam keseimbangan: $T = D$ dan $L = W$.

Ketika pesawat *take off* atau *landing*, terjadi akselerasi dan deselerasi yang dapat dijelaskan menggunakan Hukum II Newton (total gaya adalah sama dengan massa dikalikan dengan percepatan).

Pada saat pesawat *take off*, maka pesawat mengalami akselerasi dalam arah horizontal dan vertikal, sehingga gaya *lift* harus lebih besar dari pada gaya *weight*, begitu pula dengan gaya *thrust* lebih besar dari pada gaya *drag*.

Dengan demikian dibutuhkan daya mesin yang besar pada saat *take off*. untuk mengantisipasi terjadinya gagal *take off* akibat kurangnya daya mesin.



Gambar 9.11. Kesetimbangan Gaya

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=aerodinamika+pesawat&form=HDRSC3&first=1>)

Keterangan:

T : Gaya Dorong (N)

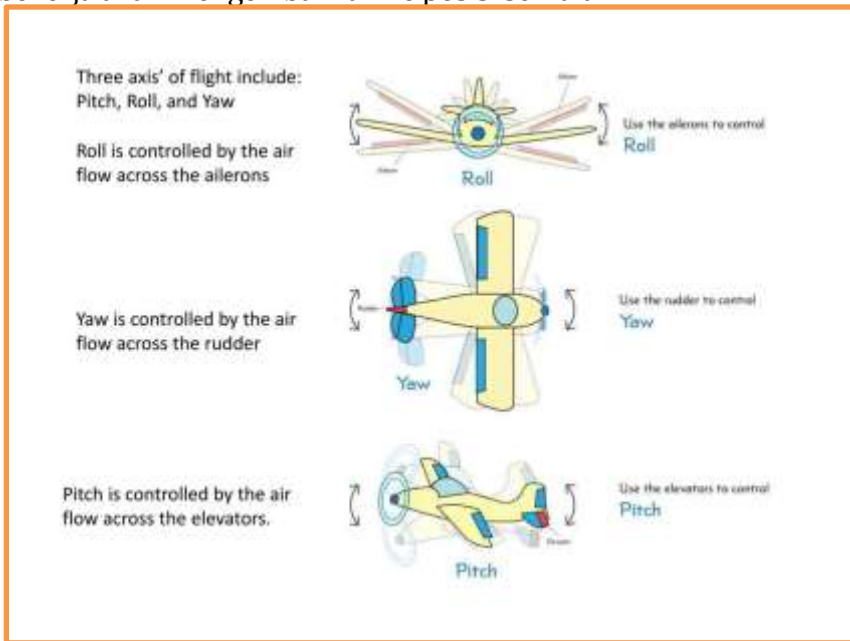
D : Gaya Hambat (N)

L : Gaya Angkat (N)

W: Gaya Berat (N)

Untuk mengontrol kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja pada pesawat, saat menanjak atau mengganggu naik atau turun maka "*control pitching moment*" yang bekerja untuk mengembalikan keposisi semula, jika pesawat terjadi rolling kekiri atau kekanan, maka "*control rolling moment*" yang bekerja untuk mengembalikan pesawat keposisi semula, dan jika pesawat terjadi

berbelok kiri atau kanan maka “*Control yawing moment*” yang bekerja akan mengembalikan ke posisi semula.



Gambar 9.12. Kontrol Stabilitas Gaya 3 Sumbu Pesawat

(Sumber: <https://www.bing.com/images/search?q=Yawing+Roling+Piching&form=IRIBIP&first=1>)

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, Jhon D., Jr.: Fundamentals of aerodynamics, McGraw-Hill Book Company, Boston, 2001.
- Badaruddin Anwar, 2000. Pengaruh Gaya Terhadap Kesetimbangan Pesawat Terbang Pada PT. IPTN (Persero) di Bandung: Skripsi. Fakultas Teknik Univeritas Negeri Makassar.
- Cook, M. V. 2012. *Flight dynamics principles: a linear systems approach to aircraft stability and control*. Butterworth-Heinemann.
- Lubis, M. M. 2012. Analisis aerodinamika airfoil naca 2412 pada sayap pesawat model tipe glider dengan menggunakan software berbasis computational fluid dinamic untuk memperoleh gaya angkat maksimum. *e-Dinamis*, 2(2).
- Mansor, S, et.al, February 1994, "Building of Light Aircraft at Universiti Teknologi Malaysia", Bulletin IEM, Bil.2.
- Mansor, S, et.al, July 1995, "Take-off, Climb and Landing Performance of Ultralight Aircraft", Bulletin IEM, Bil.7.
- Mansor, S. 2002. Analisis Kestabilan Statik Membujur Pesawat Terbang Ringan. *Jurnal Mekanikal*.
- Me Cormick, B.W, 1989, "Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics", John Wiley & Son.
- Mulyadi, M. 2010. Analisis Aerodinamika pada Sayap Pesawat Terbang dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD). *Universitas Gunadarma, Depok*.
- Nelson, R.C, 1989, "Flight Stability and Automatic Control", Me Graw-Hill Book Company.
- Romadhon, A., & Herdiana, D. 2017. Analisis Cfd Karakteristik Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Lsu-05 Dengan Penambahan Vortex Generator (Analysis of Cfd Aerodynamic Characteristics At the Wing of Aircraft Lsu-05

- With the Addition of Vortex Generator). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 15(1), 45-58.
- Roskam, J, 1979, "Airplane Flight Dynamics And Automatic Flight Controls", The University of Kansas
- Stenfelt, G., & Ringertz, U. 2009. Lateral stability and control of a tailless aircraft configuration. *Journal of Aircraft*, 46(6), 2161-2164.
- Takahashi, T. T., Griffin, J. A., & Grandhi, R. V. 2023. A Review of High-Speed Aircraft Stability and Control Challenges. *AIAA*, 3231, 2023.

BAB 10

KARAKTERISTIK SAYAP PESAWAT TERBANG

Oleh Tungga Bhimadi Karyasa

10.1 Pendahuluan

Impian orang sejak keturunan Adam untuk dapat terbang, dilakukan dengan meniru kelakuan bagaimana burung terbang. Yang dibayangkan mereka saat itu adalah terbang dengan menggunakan sayap. Orang jaman dulu sudah cukup bangga memasang sayap dengan cara ditempatkan diatas rentang kedua tangannya. Mereka melakukan percobaan untuk terbang. Dan yang dilakukan, mereka *ancang-ancang* untuk melompat dengan kostum layaknya burung, hasilnya tentu saja terbang *tidak jauh*, dan *langsung jatuh*.

Revolusi inovasi yang dilakukan Wright bersaudara pada tanggal 17 Desember 1903, berhasil menerbangkan pesawatnya dengan span sayap ganda yang panjang. Agar dapat terbang agak lama, percobaan dilakukan di pantai. Percobaan ini dianggap berhasil kearah fokus pada desain sayap, atau desain bagaimana kebutuhan sayap untuk terbang menjadi hal yang diutamakan. Pesawat era sesudah melihat keberhasilan Wright bersaudara, adalah pesawat yang **mementingkan sayap panjang** dengan badan pesawat kecil, secukup orang yang diangkutnya. Pesawat dengan bentuk dan kegunaannya sampai saat ini, berkembang sesuai kebutuhan yang kemudian menjadikan berbagai pesawat sesuai jenis-jenis yang ada, misalnya: pesawat terbang, helicopter, hovercraft, pesawat ulang-alik, dan pesawat auto pilot. Pesawat

terbang sendiri dapat berujud misalnya pesawat: tempur, tanker, dan penumpang.

Pengertian karakteristik yang dapat diberlakukan pada objek yang berujud maupun yang abstrak, merupakan ciri-ciri khas. Sebagai contoh adalah karakteristik seseorang yang ditunjukkan antara lain dari: umur, status sosial, jenis kelamin, pekerjaan, ras, tingkat pendidikan, dan status ekonomi. Karakteristik sayap yang utama adalah sebagai penghasil gaya angkat. Gaya angkat ditimbulkan dari perbedaan tekanan dinamik (dengan rumus $\frac{1}{2} \rho v^2$).

Perbedaan kecepatan ini terjadi karena perbedaan lintasan antara permukaan atas (skin atas) dengan permukaan bawah (skin bawah). Sehingga kecepatan udara menyusuri skin sayap pada kedua skin sayap berbeda. Perbedaan tekanan ini menjadikan kelebihan tekanan pada skin bawah, menimbulkan gaya keatas yang disebut gaya angkat. Untuk menjadikan gaya angkat sayap pesawat berguna selama penerbangan, sayap perlu dilengkapi dengan peralatan yang ditambahkan atau dibuat untuk disimpan dalam struktur sayap sendiri.

Tinjauan karakteristik untuk sayap pesawat terbang dengan memperhatikan setiap kegunaan dari peralatan tambahan yang dibahas dalam book chapter ini, difokuskan pada pemahaman sayap dan peralatannya tentang:

- a. Konfigurasi sayap (low, middle, High, dan double)
- b. Bentuk sayap (lurus, swept back, swept forward, delta atau segi-3, tapered atau tirus, variable geometry misalnya kombinasi bentuk sayap lurus bagian pangkal kemudian swept atau lurus-delta)
- c. Keadaan ujung sayap atau wing tip
- d. Tambahan gaya angkat yang diperlukan, atau *high lift deviced*, disingkat HLD (*flap, aileron. canard, dan leading edge* HLD)
- e. Dimensi sayap (*span, luas, chord, dan aspect rasio*)

- f. Struktur (*leading edge, stringer, skin, trailing edge, spar, chord, dan striffrener*)
- g. Kontribusi sayap pada keseimbangan pesawat (*lift* atau gaya angkat, drag atau gaya tahan, *pitching momen*)

10.2 Konfigurasi, Bentuk Dan Wing Tip

Pemahaman yang diperlukan dalam meninjau karakteristik sayap antara lain adalah: fungsi sayap untuk menimbulkan gaya angkat pesawat sebagai penyeimbang berat pesawat, dan pengertian tentang bilangan Mach. Bilangan Mach adalah satuan kecepatan pesawat yang ditentukan ekivalen dengan kecepatan suara pada ketinggian permukaan laut dengan suhu 20 derajat Celsius yang sama dengan 343 m/det, atau 1238 km/jam.

Kecepatan 1(satu) Mach diidentikkan dengan kondisi kecepatan pesawat transonik. Kecepatan diatas transonik disebut super sonik dan dibawahnya disebut sub sonik. Pilihan ***konfigurasi sayap*** berturut-turut, berhubungan dengan kecepatan terbang yang dibutuhkan, mulai: kecepatan paling rendah menggunakan double wing contoh pesawat pertanian, sub sonik dengan high wing contoh pesawat CN-235 atau ATR-42, transonik konfigurasi low wing contoh Airbus-323 atau Boeing-757, dan super sonik middle wing contoh pesawat tempur umumnya.

Konfigurasi sayap dalam hal ***variasi bentuk sayap***, ditentukan oleh posisi garis yang menghubungkan titik-titik $\frac{1}{4}$ chord pada setiap posisi sepanjang span sayap. Didefinisikan, panjang chord sebagai jarak dari ujung sayap paling depan sampai ujung sayap paling belakang. Garis titik-titik $\frac{1}{4}$ chord diletakkan membentang dari ujung sayap sebelah kiri sampai ujung sayap sebelah kanan.

Garis yang terbentuk sepanjang span sayap, dinyatakan sebagai ***garis $\frac{1}{4}$ chord*** yang dapat terjadi antara lain: lurus, sweep back atau garis kiri dan kanan berawal dari pangkal fuselage ke tepi dengan menyudut kearah belakang, sweep forward yang

berawal dari pangkal fuselage ke tepi dengan menyudut arah ke depan, bentuk delta atau segi-3 yang dapat dengan sweep back maupun sweep forward, tapered atau tirus yang umumnya sweep back dengan chord pangkal lebih panjang dibandingkan chord ujung atau tip sayap, dan variable geometri misalnya lurus-sweep atau lurus-delta yang umumnya untuk kebutuhan khusus misalnya tempat: tangki bahan bakar, dan pesawat akrobatik.

Pesawat dengan kecepatan terbang tertentu, memberi efek pusaran udara pada kedua ujung sayap, yang disebut **vortex**. Arus pusar atau **vortex** selalu timbul pada kedua ujung sayap akibat pertemuan kecepatan udara permukaan atas dan permukaan bawah skin atau permukaan sayap. Vortex ini tidak dapat dihilangkan dan menyebabkan tambahan drag atau gaya hambat sayap. Solusi gangguan ini dikurangi dengan memasang struktur tambahan yang disebut Wing Tip. **Wing Tip** atau **tambahan sirip** disambungkan secara vertical atau horizontal pada ujung sayap. Fungsi utama wing tip, adalah untuk mengurangi vortex pada kondisi terbang tertentu.

Ujung sayap yang menimbulkan vortex dan yang mengganggu atau yang dapat ditoleransi, dipastikan untuk mendapatkan harga kekuatan vortexnya. Kekuatan vortex diperoleh dari salah satu dari 3(tiga) cara ini, yaitu: pengamatan pada **percobaan** terowongan angin dengan model wing tip, solusi dengan metode Helmholtz-Kevin, dan analisa teoritis terhadap model elemen hingga wing tip. Bentuk wing tip, apabila dipasang tegak maka merupakan perpanjangan dari chord tepi dan berujung pada bentuk dengan lengkungan.

Apabila wing tip **dipasang mendatar** maka umumnya berbentuk segi tiga yang berujung dari lokasi depan ujung sayap. Umumnya, wing tip **dipasang tegak** untuk kecepatan pesawat lebih rendah dibanding wing tip datar. Keduanya diperlukan untuk kecepatan pesawat subsonic. Kondisi pesawat dengan kecepatan transonic yang dengan kecepatan hampir sama dengan kecepatan

mach, dan supersonic. Pesawat dengan kecepatan lebih dari satu Mach, menyebabkan pada ujung sayap timbul vortex. Vortex pada ujung sayap menjadi pusat Shock Wave atau gelombang kejut.

10.3 High Lift Deviced Sayap

Peralatan penambah gaya angkat atau High Lift Deviced disingkat HLD umumnya dipasang pada sayap. Untuk keperluan khusus HLD ditempatkan pada fuselage dan/atau Horizontal Tail. Peralatan penambah gaya angkat pada sayap ini antara lain adalah: **flap** dengan lokasi di ujung belakang sayap bagian tengah, **aileron** dengan lokasi di ujung belakang sayap bagian ujung, **leading edge** HLD, **training edge** HLD, **spoiler** lokasi diatas flap, **surface blowing** dengan lokasi tepat dibelakang engine dimana ada sebagian nosel engine diarahkan pada skin atas trailing edge sayap, dan **variable camber** yang umumnya diletakkan pada leading edge.

Flap merupakan peralatan untuk menambah gaya angkat, terutama saat takeoff dan landing. Flap sendiri umumnya terdiri dari dua bagian, yaitu: inner dan outer flap. Flap yang berada pada bagian belakang ini, bekerja dengan memdefleksikan flap kebawah. Jenis untuk flap baik inner maupun outer flap dapat berupa:

1. **Split Flap**

Split Flap merupakan flap dengan bentuk paling sederhana. Defleksi gerakan engsel Split Flap dilakukan oleh actuator pada skin atau permukaan bawah. Sebagai contoh adalah pesawat pertanian.

2. **Plain Flap**

Plain Flap menggunakan defleksi dari gerakan engsel untuk mendapatkan putaran seluruh airfoil kebawah. Sebagai contoh adalah pesawat latihan atau pesawat pengatur cuaca.

3. **Single Slotted Flap with Fix Hinge**

Flap ini bekerja dari saat defleksi airfoil. Gerakan engsel terjadi dengan menggunakan bantuan penyangga yang dipasang.

Struktur penopang flap ini tampak menonjol pada bagian bawah skin sayap. Posisi engsel untuk gerakan putar flap, diletakkan dibawah skin.

4. Single Slotted Flap with Optimum Flap Position

Flap dengan defleksi airfoil dan bantuan track atau penyearah, memungkinkan defleksi dapat terjadi sampai 50 derajat. Sehingga, posisi akhir airfoil dapat jauh kebelakang dan jauh kebawah.

5. Double Slotted Flap with Fix Hinge

yaitu flap dengan dua airfoil yang bergerak bersamaan, terdefleksi sesuai arah dengan menggunakan track, dimana airfoil yang lebih kecil pada poisisi diatas airfoil besar yang terhubung secara fix hinge atau tetap,

6. Double Slotted Fowler Flap with Individual Adjustment

Seperti jenis flap pada bahasan sebelumnya, tetapi kedua airfoil flap mempunyai track masing-masing.

7. Triple Slotted Fowler Flap

8. Surface Blowing Flap

Sesuai fungsi, Surface Blowing Flap membantu menaikkan gaya angkat dari throttle yang dipasang pada permukaan atas untuk dipergunakan seperlunya saat flap dioperasikan. Throttle adalah nosel dimana semburan aliran fluida diatur sesuai kebutuhan.

Penggunaan masing-masing jenis flap ini yang sudah diurutkan seperti abjad diatas, sejalan dengan kebutuhan untuk mengatasi variasi besar harga kecepatan pesawat yang saat takeoff dan landing.

Sisi luar dari outer flap terdapat **Aileron**. Aileron berfungsi untuk menjaga kestabilan pesawat sebagai kemudi guling akibat pesawat bermanuver untuk membelok. Aileron bekerja dengan mendefleksikan airfoilnya yang terletak pada kedua ujung sayap tersebut dalam gerakan putar yang berlawanan. Sebagai contoh,

apabila diinginkan pesawat membelok ke arah kanan, maka dibutuhkan tambahan gaya dari sayap kiri ke atas dan tambahan gaya dari sayap kanan ke bawah.

Begitu juga sebaliknya. Aileron dapat membuat pesawat untuk berguling sesuai arah yang dikehendaki. Aileron yang terpasang pada bagian tengah dari posisi dari inner dan outer flap, umumnya terdiri dari dua bagian, yang disebut dengan: inboard aileron untuk bagian atas, dan inboard aileron tab untuk bagian bawah. Dengan **kemajuan sistem komputasi** yang didukung aplikasi **program Artificial Intelegent** (Program-AI), maka kedua peralatan ini umumnya digunakan sebagai penyeimbang terhadap kebutuhan harga gaya angkat sayap dengan teliti, untuk antara sisi kiri dan sisi kanan dalam kondisi pererbangannya apapun.

Sesuai dengan penamaannya, **Leading Edge High Lift Deviced** disingkat LE-HLD ditempatkan pada sayap bagian depan. Tujuan utama LE-HLD adalah untuk menambah gaya angkat dengan memperpanjang chord sayap. Defleksinya mengarah kedepan dengan pola posisi tonjolannya mirip dengan flap. Jenis **Leading Edge HLD** dapat berupa antara lain:

1. Slat LE-HLD

Slat LE-HLD bekerja dengan mendefleksikan bagian depan sayap yang terdorong kedepan dan kemudian karena putaran actuator terdefleksi kebawah oleh actuator. Split Flap merupakan flap dengan bentuk paling sederhana.

2. Krueger atau Upper Surface LE-HLD

Sebutan lain pada awal dipopulerkan Krueger, adalah Leading Edge Flap. **Krueger LE-HLD** bekerja dengan mendefleksikan bagian depan sayap dari skin bagian bawah sayap dengan aktuator. Perkembangan selanjutnya, Krueger melakukan pengembangan mekanisme LE-HLD ke arah **Slotted Fowler**.

3. Hinged Nose atau Drooped LE-HLD

Konstruksi yang disebut Leading Edge Wing berawal dari depan sampai dibatasi oleh spar. Totalitas konstruksi ini dianggukkan

ke depan.

4. Upper Surface LE-HLD

10.4 Dimensi Dan Struktur Sayap

Dimensi yang menjadi karakteristik sayap pesawat, antara lain adalah keberadaan parameter yaitu: span notasi (S), chord dengan notasi: c_r untuk panjang chord pada pangkal sayap dan c_t untuk panjang chord pada ujung sayap terhadap bidang horizontal untuk sudut kemiringan nol derajat. Sehingga, **luas sayap** notasi (A) diperoleh dengan persamaan,

$$A = b/2 (c_r + c_t) \quad (10.1)$$

dimana rumus ini berlaku juga untuk sayap bersudut baik swept back atau swept forward, dan

$$A = c_r b/2 \text{ untuk sayap delta} \quad (10.2)$$

Parameter lain yaitu, **aspect ratio** dengan notasi AR dan aspek rasio dirumuskan sebagai,

$$AR = S^2/A \quad (10.3)$$

Taper ratio dengan notasi (λ) dengan rumus,

$$\lambda = c_t/c_r \quad (10.4)$$

sudut sweep sebagai sudut yang terbentuk antara sumbu bentangan sayap terhadap garis chord sayap terdepan yang umumnya diketahui.

Struktur sayap dibangun dari susunan airfoil dengan bentuk airfoil mengikuti profil rekomendasi dari National Advisory Committee for Aeronautics disingkat NACA yang terbukti melalui percobaan **memberikan informasi data** seperti: koordinat titik-titik yang membentuk profil, kurva distribusi koefisien tekanan terhadap chord, kurva informasi C_l sebagai fungsi dari sudut serang, posisi pusat berat airfoil, dan pusat momen terhadap sumbu-y pesawat.

Susunan airfoil sesuai profil NACA yang dipilih, dihubungkan dengan struktur memanjang satu per satu dengan

struktur yang dinamakan spar. Jika **chord sayap** cukup panjang, maka **spar** yang digunakan dapat lebih dari satu, yang disebut sebagai front-middle-rear spar. Kemudian deretan profil airfoil sebagai chord diselimuti skin. Struktur dari spar sampai ujung depan pesawat untuk sepanjang sayap, disebut leading edge, sedang untuk bagian belakang sepanjang bentang sayap disebut trailing edge. Bagian struktur sayap yang lain adalah **stringer** (penguat skin), dan **stiffener** (penguat spar dan chord). Stringer membentang searah panjang sayap dengan lokasi stringer menempel skin pada bagian dalam sayap.

Stringer tersebut menempel dengan dua cara yaitu: ditempelkan dengan dilakukan pengelasan disebut **non machining part**, atau stringer dibuat dengan machining dari kondisi slab, yang disebut machining part. Kemudian slab dikeruk sampai ketebalan skin tercapai dengan tetap stringer menyatu dengan skin dalam satu material sesuai material slab. **Stiffener** ditimbulkan dengan 3(tiga) cara yaitu: dibuat dengan ditempelkan sebagai non machining part, dibuat seperti pembuatan machining part, dan skin yang akan dibuat stiffener dengan dibengkokkan oleh pengerjaan mesin blanking.

Material struktur pesawat umumnya Aluminum Paduan, kecuali untuk skin dari komposit. Kriteria pemilihan bahan untuk pesawat terbang termasuk sayap, yaitu: kekuatan statik cukup besar dengan kerapatan bahan rendah, tahan beban fatik, tangguh terhadap perambatan retak, tahan korosi, dan tahan penggetasan.

Contoh material untuk sayap dan pesawat terbang umumnya tersebut, dari **Caesar Wiratama (2017)**, antara lain adalah:

1. Aluminium Paduan
2024-T3 tahan penggetasan, 2024-T81 tahan suhu tinggi,
2024-T651 tahan korosi, 7178-T6 tahan beban tekan
2. Titanium
Digunakan sebagai lembaran logam murni untuk: pelapisan

dan pencegah gangguan es, antara lain pada leading edge.

3. Baja Paduan

Baja tahan karat martensitik untuk struktur tangki bahan bakar, Baja tahan karat ferritik, struktur penopang dan screw aktuator,

Baja tahan karat austenitik, untuk fitting sayap ke badan pesawat

4. Komposit

Komposit terdiri dari material: kevlar, honey comp, boron, serat carbon, fiberglass, yang disusun menjadi **Komposit Sandwich**. Komposit digunakan sebagai skin pada misalnya: sayap, flap, dan aileron.

Kondisi terbang yang diasumsikan untuk pesawat komersial atau penumpang, dilakukan sesuai kondisi sesuai persyaratan misi pada umumnya, yaitu untuk misi: taxiing atau bergerak menuju landasan pacu atau setelah landing, takeoff, loiter, climb, cruising, descent, loiter, dan landing. Sejak pesawat meninggalkan bandara sampai selesai loiter, diperlukan sejumlah peralatan HLD bekerja sesuai kebutuhan agar perjalanan pesawat lancar dan dapat mengatasi gangguan yang ada. Gangguan tersebut misalnya adalah: angin dari segala arah, petir, hujan, burung, atau benda asing.

Sampai tahun 1900, kegagalan pesawat dalam penerbangannya masih dapat terjadi karena gangguan yang sudah disebutkan ini. Tetapi sejak sekarang dimana komputer sudah teraplikasi, gangguan yang mengakibatkan kecelakaan pesawat dapat dicegah, misalnya: teknologi penyaluran petir, hantaman burung atau benda asing diatasi dengan pengkondisian panas sekitar depan engine, gangguan angin skala kecil diatasi dari konfigurasi pesawat itu sendiri, sedang untuk gangguan angin skala besar dapat dihindari dari pengamatan cuaca sebelumnya.

10.5 Perencanaan Sayap

Perancangan sayap hakekatnya adalah perancangan **bentuk dan ukuran** (geometri) sayap yang sesuai kebutuhan operasional pesawat, yaitu dalam hal antara lain untuk kebutuhan: misi, keamanan flight control, dimensi dan profil memenuhi persyaratan aerodinamika, dan bahan sayap memenuhi kekuatan struktur. Perencanaan **ukuran sayap** Pesawat meliputi parameter yaitu: luas sayap, sudut sweep $1/4$ chord, aspect ratio, taper ratio, dan dimensi. Perencanaan **bentuk sayap** memperhatikan parameter yaitu: pemilihan airfoil, pembahasan masalah struktur, dan evaluasi volume bahan bakar pada sayap.

10.5.1 Perencanaan ukuran sayap

1. Pemilihan Luas Sayap

Luas sayap *ditentukan dari* pemilihan kebutuhan selama misi pesawat terbang tersebut. Hasil yang diperoleh umumnya merupakan perhitungan terhadap luas sayap prediksi dari 4(empat) kondisi, yaitu: jelajah, take off, landing, dan climb. Persamaan umum penentuan luas sayap dengan,

$$L = C_L q A \text{ atau } S = L / (C_L q) A \quad (10.5)$$

Gaya angkat untuk penentuan luas sayap diasumsikan sama dengan berat pesawat (notasi W) sesuai kondisi misi. Harga variasi berat pesawat kondisi sesuai misi ini diperoleh dari bab sebelumnya.

Pilihan harga luas sayap dapat terjadi lebih besar atau lebih kecil dari harganya karena tergantung misi, yaitu untuk misi dan pilihannya:

- Jelajah (*cruising*) lebih kecil atau $A_{CR} < L / (C_{L(CR)} q)$, karena jika luas sayap (A) lebih besar maka kecepatan cruising bertambah dan itu berakibat antara lain dapat merusak struktur.
- Takeoff lebih besar atau $A_{TO} > L / (C_{L(TO)} q)$, karena jika luas sayap lebih kecil maka Thrust atau gaya dorong engine tidak cukup untuk takeoff, selain itu juga gaya

angkat berkurang sehingga pesawat tidak dapat meninggalkan landasan.

- c. Landing lebih besar atau $A_{LD} > L / (C_{L(LD)} q)$, karena jika luas sayap lebih kecil maka kecepatan pesawat bertambah, pesawat dapat keluar landasan, ini berbahaya.
- d. Climb lebih besar atau $A_{CL} > L / (C_{L(CL)} q)$, karena jika luas sayap lebih kecil dari yang disyaratkan maka kemampuan climb berkurang yang dapat berakibat pesawat stall.

Dari rumus penentuan luas sayap ini, harga yang diperoleh dari percobaan terowongan angin dan rumus empiris pendekatan yang menyertakan konstanta, adalah koefisien gaya angkat C_L , sebagai berikut, **Nicolai (1975)**:

a. Terhadap kondisi jelajah

Harga $C_{L(CR)}$ jelajah sebagai taksiran awal, persamaan berikut ini:

$$C_{L(CR)} = (C_{D0} / (2 (22/7) AR e))^{0.5} \quad (10.6a)$$

$$A_{CR} < W_{CR} / (C_{L(CR)} q) \quad (10.6b)$$

Dimana,

C_{D0} = Zero lift drag koeficient, dari percobaan terowongan angin.

e = Bilangan Oswald ($N \cdot \text{det} / m^2$)

AR = aspek ratio pemisalan (tak bersatuan)

W_{CR} = Berat cruising sealevel maksimum, dari bab sebelumnya (N)

q = Tekanan dinamik sea level ($kg / (m \text{ det}^2)$)

A_{CR} = Luas sayap (m^2)

b. Terhadap kondisi take off

Didefinisikan perbandingan masa jenis udara pada kondisi lokasi permukaan laut (sealevel) dengan ketinggian 50 ft yaitu,

$$Phii = \frac{\rho_{50 ft}}{\rho_{0i}} \quad (10.7a)$$

$$A > W_{TO} / (C_{L(TO)} q) = W_{TO} / (C_{L(TO)} (22/7) T TOP) \quad (10.7b)$$

Dengan,

$\rho_{50 ft}$ = Masa jenis udara, ketinggian 50 ft (kg/m³)

ρ_{0i} = Masa jenis udara sea level (kg/m³)

T = Thrust takeoff engine (N)

TOP = Take off parameter (tidak bersatuan)

$C_{L(TO)}$ = $C_{L(TO)}$ dari pengujian teromongan angin atau, asumsi takeoff

maksimum dengan $C_{L(TO)} = C_{L(CR)} / 0.9$ (tidak bersatuan)

W_{to} = Berat take off maksimum (N) dari bab sebelumnya.

c. *Terhadap kondisi landing*

Didefinisikan konstanta (notasi C_L) sebagai fungsi dari panjang pesawat landing (landing field), maka luas sayap kondisi landing diperoleh sebagai berikut;

$$A_{LD} > L / (C_{L(LD)} q) \quad (10.8a)$$

$$W_{LD} / A_{ld} \text{ lebih kecil dari } C_{L(LD)} \quad (10.8b)$$

$C_{L(LD)}$ = Konstanta yang diperoleh dari percobaan terowongan angin, atau data statistik C_{Ld} sebagai fungsi dari landing field untuk jenis pesawat tertentu, atau diasumsikan $C_{Ld} = 0.8 C_{L(maks)}$

W_{LD} = Berat landing maksimum.

d. *Terhadap kondisi climb*

Luas sayap sortie climb (S_{c1}), yaitu:

$$A_{CL} > W_{CL} / (C_{L(CL)} q) \quad (10.9a)$$

$$A_{CL} \text{ lebih besar dari } W_{CL} / ULT^*(C_{L(maks)} q) \quad (10.9b)$$

dengan,

ULT= Ultimate Load Factor, tergantung jenis pesawat, regulasi
 W_{CL} = Berat maksimum sortie climb, sesuai bab sebelumnya
 $C_{L(CL)}$ dari pengujian terowongan angin atau rumus empiris

2. Sudut Sweep 1/4 Chord dan Pemilihan Aspect Ratio

Pengaruh sudut sweep baru diperhitungkan untuk kecepatan pesawat lebih besar dari 0.65 kecepatan suara atau Mach (1 Mach = 343 m/det = 1238 km/jam pada udara suhu 20 derajat celcius). Pemberian sudut sweep ini menurunkan harga C_L . Kecepatan cruising pesawat makin besar, maka dibutuhkan harga Sudut Sweep 1/4 Chord Makin besar. Bahkan untuk pesawat tempur dengan kecepatan jelajah sampai 2(dua) kali kecepatan suara, maka sudut ini sampai lebih kecil dari 45 derajat. Umumnya. **Sudut Sweep 1/4 Chord** ditentukan dari suatu kurva sudut ini sebagai fungsi dari kecepatan pesawat yang didesain.

Aspect Ratio atau kelampaian sayap didefinisikan sebagai perbandingan kuadrat span terhadap luas sayap atau b^2/A . Sayap dengan aspect ratio besar memberikan slope kurva $C_L - C_D$ lebih besar, dan diharapkan memenuhi kebutuhan misi dan menimbulkan gaya tahan imbas yang kecil. Setiap jenis pesawat tertentu, mempunyai harga range Aspect Rasio, dari harga minimum ke harga maksimum. Sebagai contoh, harga aspect ratio pesawat training turbo propeller sejenis antara 5.5 sampai 9.5. Aspect Rasio desain umumnya dipilih dalam range untuk digunakan pada perhitungan desain parameter lain.

3. Pemilihan Harga Taper Ratio

Harga ratio adalah harga perbandingan antara tip atau ujung dan root atau pangkal sayap, atau:

$$\lambda = c_t / c_r \quad (10.10)$$

dimana, λ = Taper ratio, c_t = Tip chord sayap, dan c_r = Root chord sayap. Bentuk sayap taper mempengaruhi distribusi gaya angkat sepanjang span sayap. Distribusi gaya angkat atau Lift sepanjang span pesawat umumnya diasumsikan eliptik untuk memberikan koefisien gaya angkat yang terbaik.

Dua alasan untuk mendapatkan distribusi eliptik, yaitu:

- a. Harga koefisien lift dua dimensi atau notasi C_l umumnya, mencapai maksimum pada pangkal sayap. Sehingga penerbangan dengan sudut serang positif tertentu, memberikan bagian lokasi pangkal sayap yang terjadi kondisi dengan stall terlebih dahulu.
- b. Asumsi kurva eliptik lebih realistis dibanding asumsi beban merata. Hal ini menyebabkan momen lentur yang diterima badan atau fuselage, lebih kecil dibanding distribusi gaya angkat merata sepanjang span.

Distribusi gaya angkat eliptik, secara teoritis tidak dapat dicapai dengan span sayap panjang terbatas (contoh untuk sayap pesawat tempur). Kombinasi harga taper ratio dan aspect ratio pada range tertentu yang umumnya sesuai dengan kondisi pesawat penumpang tertentu, akan memberikan distribusi gaya angkat yang mendekati eliptik, sesuai prosedur sebagai berikut:

1. Pengaruh gradien gaya angkat

Dinyatakan gradien gaya angkat terlifhadap sudut serang atau ***curve slope per degree*** (notasi a) sesuai rumus, yaitu;

$$a = \frac{f a_o}{1 + (57.3 a_e / (22/7) AR)} \quad (9.11)$$

Makin besar harga- a , diperlukan harga- f yang makin besar. Secara umum, kondisi distribusi C_L eliptik dipenuhi dengan harga f sama dengan satu. Untuk pesawat terbang sub sonic, harga taper ratio yang sesuai untuk f sama dengan satu adalah antara 0.2 sampai 0.8, untuk sementara harga ratio ditinjau faktor lain, seperti berikut ini.

2. Pengaruh koefisien induced drag

Koefisien induced drag yang mempengaruhi sayap, sesuai rumus;

$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{P_i Au} + C_L a_0 v + (\varepsilon a_o)^2 w \quad (9.12)$$

Harga u, v, dan w adalah harga-harga koefisien yang tergantung harga kecepatan gangguan angin sesuai atah koordinat. Sayap mempunyai harga C_{Di} kecil, untuk umumnya harga u relatif besar dengan v dan w yang cukup kecil. Untuk aspect ratio lebih kecil dari 20, sebaiknya dipilih taper ratio antara 0.3 sampai 0.65.

3. Pengaruh momen tukik dan letak x_{ac}

Pemilihan harga taper ratio dalam perancangan mula ini tidak diperlukan pertimbangan terhadap kekuatan struktur sayap, misalnya terhadap: peralatan mekanisme pergerakan bidang (flap dan aileron), payload persyaratan misi, kapasitas bahan bakar, dan under carriage (beban luar yang dapat diangkut).

10.5.2 Perencanaan bentuk sayap

Bentuk sayap secara umum adalah ***Stright Tapered Wing*** yaitu sayap menyudut kebelakang, dengan dua alasan yaitu: relatif mudah pembuatannya, dan lebih kuat dibanding sayap dengan sudut swept (sayap menyudut kedepan). Parameter planform sayap yang lain adalah:

a. *Mean Aerodinamic chord (M_{AC})*

$$M_{AC} = MAC = 2/3 c_r \left(\frac{1 + \lambda + \lambda^2}{1 + \lambda} \right) \quad (10.13)$$

b. *Bentang sayap, notasi-b*

$$b = (AR * A)^{0.5} \quad (10.14)$$

dimana;

AR = harga aspec ratio sayap

A = harga pemilihan luas sayap

c. *Tip dan root chord, (notasi- c_t dan notasi- c_r)*

$$c_r = 2.S / (b(1. + \lambda)) \quad (10.15a)$$

$$c_t = \lambda * c_r \quad (10.15b)$$

d. Sudut swept leading edge (Λ_{LE}) dan trailing edge (Λ_{TE}),

Contoh sudut swept untuk sayap tanpa sweep 1/4 chord:

$$\Lambda_{LE} = \arctan (0.25*(c_r - c_t)/(0.5*b)) \quad (10.16a)$$

$$\Lambda_{TE} = \arctan (0.75*(c_r - c_t)/(0.5*b)) \quad (10.16b)$$

e. Pemilihan Airfoil

Dasar pemilihan airfoil adalah;

- 1) Mempunyai harga t/c , $C_{L(maks)}$. Dan $C_{m(maks)}$ sesuai persyaratan misi.
- 2) Mempunyai harga C_{Do} yang relatif rendah.
- 3) Memiliki luasan antara Leading-trailing chord yang memadai untuk penempatan bahan bakar, main landing gear. dan peralatan control sistem.
- 4) Contoh keperluan manuverability pada pesawat trainer atau pesawat tempur, maka dipilih: airfoil dengan harga $C_{m(maks)}$ mendekati nol (relative dekat dengan X_{cg}) yaitu pada posisi ketebalan penampang airfoil maksimum, dan harga koefisien c_1 yang relatif besar, yaitu jenis NACA 65₃618. Dua alasan penting penentuan harga ini disebutkan, yaitu: makin besar harga $C_{m(maks)}$, makin berat gaya trim drag yang diperlukan, dan harga c_1 yang relatif besar memberikan kontribusi langsung pada pengurangan C_{mo} .

f. Sudut- t/c maksimum

Sudut- t/c maksimum ditentukan sebagai berikut :

$$A_{tpc} = \arctan (- (c_{tpc} - 0.25) * (c_r - c_t) / (b/2)) \quad (10.17a)$$

$$c_{tpc} = \text{lokasi } (t/c) \text{ maks.} \quad (10.17b)$$

relatif terhadap chord

g. Perencanaan Struktur Sayap

Struktur sayap berbentuk box-beam atau batang kotak, yang dibatasi oleh: spar pada depan-belakang, skin atas-bawah, dan rib pada kiri-kanan. Skin yang menghubungkan spar depan bagian atas dan bagian bawah disebut sebagai leading edge, dan untuk skin belakang sebagai trailing edge. Untuk membuat skin dapat menahan beban agar cukup kaku, ditambahkan stringer yang dipasang dengan dikeling misalnya, pada permukaan bawah skin. Posisi stringer terletak searah dengan spar.

Tiga aspek penting untuk menilai kemampuan struktur tidak dievaluasi pada tahap preliminary, yaitu:

1. **Save Life**

Jaminan keamanan pesawat karena memenuhi persyaratan pemakaian Faktor Keamanan untuk batas waktu tertentu. persyaratan save life berlaku untuk semua bagian struktur (termasuk kekuatan keling dan baut) terhadap statis. Faktor keamanan ditentukan dari rasio perbandingan tegangan bahan dengan tegangan maksimum dari hasil perhitungan.

$$FS = \frac{\text{tegangan bahan}}{\text{tegangan maks.}} \text{ lebih besar dari } c_1 \quad (10.18)$$

Harga c_1 tergantung dari fungsi benda. Umumnya lebih besar dari 1.5. Makin besar dimensi benda, makin besar faktor keamanannya, tetapi benda makin berat.

2. **Fail Safe**

Jaminan batas keamanan struktur atau sistem pengendalian (dari perhitungan), meskipun ada yang tidak bekerja atau rusak. Sebagai contoh, *Slotted flap* biasanya ditopang dengan Track. Kekuatan struktur yang dihitung

termasuk kemungkinan flap bekerja dengan hanya ditopang satu Track.

Contoh lain misalnya, salah satu kabel flight control putus, salah satu atau dua dari empat engsel tumpuan penyangga sayap pada badan patah. Jika kondisi ini terjadi, pesawat secara keseluruhan harus masih mampu menahan beban luar yang bekerja, yaitu: beban aerodinamik, berat pesawat, beban penumpang dll, dan beban aksi pilot pada kemudi.

3. Damage Tolerance

Jaminan pesawat layak terbang, meskipun ada kerusakan. (umum retak). Kerusakan yang terjadi misalnya: retak-retak, dan buckling pada skin karena beban fatigue. Penentuan berat total struktur sayap, diharapkan sudah termasuk kemampuan struktur ini.

4. Evaluasi Volume bahan bakar Pada Sayap

Evaluasi ini diawali dengan informasi dimana berat jenis bahan bakar diketahui, maka:

$$V_{bb} = W_{bb} / (B_j * 7.48055) \quad (10.19)$$

dimana;

V_{bb} = volume bahan bakar (ft^3)

W_{bb} = berat bahan bakar (dari Bab V) dalam lb

B_j = berat jenis bahan bakar (lb/US galon)

Sebagai contoh, diasumsikan penempatan bahan bakar antara front dan rear spar, diambil 15-55 persen chord, dan terletak pada 60 persen bertang sayap, maka;

$$c_{t1} = c_t + (c_r - c_t) * (b/2) / ((b/2) - 3) \quad (10.20a)$$

$$c_{r1} = c_t + (c_r - c_t) * ((b/2) - F_{sc}) / (b/2) \quad (10.20b)$$

dengan,

c_{r1} = chord pangkal tangki

c_{t1} = chord ujung tangki

Fsc= jari-jari cockpit

Volume untuk bahan bakar yang tersedia pada sayap menjadi:

$$V_t = C_{tb}(C_{sr}-C_{fr})*(c_{r1}+c_{t1})/2)*2*(b-6.-0.4*b) \quad (10.21)$$

dimana,

c_{tb} = tebal airfoil maksimum/chord

c_{sr} = lokasi rear spar (=0.55)

c_{fr} = lokasi front spar (=0.15)

Bila V_t lebih kecil dari V_{bb} , maka sisa bahan bakar ditempatkan pada tangki luar.

DAFTAR PUSTAKA

- Nicolai. L M. 1975. Fundamentals for Aircraft Design. University of Dayton Ohio, Amerika Serikat.
- Wiratama. C. 2017. Bahan Pada Pesawat Tderbang. PT. Markom Abadi Indonesia. Sleman. Yogyakarta.

BAB 11

SUSUNAN BAGIAN EKOR PESAWAT TERBANG

Oleh Roban

11.1 Peran Ekor Pesawat Terbang

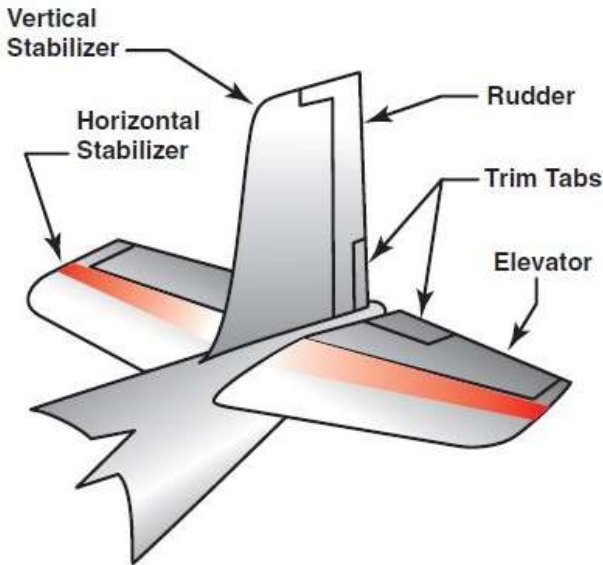
Ekor pesawat terbang memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas, kontrol, dan keseimbangan pesawat saat terbang. Fungsi utama dari ekor pesawat terbang adalah untuk menghasilkan gaya angkat dan mengontrol gerakan pesawat dalam tiga sumbu utama, yaitu *pitch* (gerakan naik-turun), *roll* (gerakan ke kiri-kanan), dan *yaw* (gerakan miring).

Tanpa bagian ekor pesawat terbang, pesawat akan kehilangan stabilitas dan kemampuan untuk melakukan manuver, sehingga dapat berpotensi mengalami kecelakaan atau kegagalan dalam penerbangan. Oleh karena itu, bagian ekor pesawat terbang harus dirancang dengan baik dan menggunakan bahan yang kokoh dan aman, sehingga dapat memenuhi kebutuhan stabilitas, kontrol, dan keamanan dalam setiap fase penerbangan.

Selain itu, pada bagian ekor pesawat terbang juga mempengaruhi performa dan efisiensi bahan bakar pesawat. Desain dan konstruksi yang tepat dapat meningkatkan performa pesawat dan mengurangi konsumsi bahan bakar, sehingga dapat menghemat biaya operasional pesawat.

Karena pentingnya peran bagian ekor pesawat terbang dalam keseluruhan sistem penerbangan, maka perancangan dan pembuatan bagian ekor pesawat terbang harus memperhatikan berbagai aspek seperti aerodinamika,

kekuatan, dan keseimbangan. Selain itu, pengembangan teknologi terbaru dalam desain dan konstruksi bagian ekor pesawat terbang juga terus dilakukan untuk meningkatkan performa dan keamanan penerbangan. Seperti terlihat pada Gambar 10.1 di bawah ini.



Gambar 11.1. Ekor Pesawat Terbang
(Sumber : Fadjar Nugroho, Artikel 18 September 2008)

11.1.1 Vertikal Stabilizer

Vertical stabilizer atau sering disebut fin adalah salah satu bagian dari ekor pesawat yang berfungsi untuk mengontrol kestabilan pesawat dalam arah vertikal (*up-down*). Bagian ini biasanya terletak di bagian belakang pesawat dan terdiri dari satu atau beberapa sirip vertikal yang melebar ke atas dan ke bawah dari bagian dasar atau root fin.

Vertical stabilizer sangat penting untuk menjaga stabilitas pesawat saat terbang. Tanpa bagian ini, pesawat akan cenderung berguling dan tidak stabil dalam arah vertikal, yang dapat menyebabkan bahaya bagi keselamatan penerbangan.

1. Jenis-jenis vertical stabilizer

a. Stabilizer tunggal

- Ekor konvensional

Vertical Stabilizer dipasang tepat secara vertikal, dan Horizontal Stabilizer dipasang langsung ke empennage (badan pesawat belakang). Hal ini adalah konfigurasi Vertical Stabilizer yang paling umum.

- Ekor-T

Ekor-T memiliki Horizontal Stabilizer yang dipasang di bagian atas Vertical Stabilizer. Hal ini biasa terlihat pada pesawat bermesin belakang, seperti Bombardier CRJ200, Fokker 70, Boeing 727, Vickers VC10 dan Douglas DC-9, dan sebagian besar glider be forma tinggi.

- Ekor salib

Ekor salib ini di susun seperti salib, konfigurasi umum memiliki Horizontal Stabilizer yang memotong ekor vertikal di suatu tempat di dekat tengah.

b. Stabilisator Ganda

- Ekor kembar

Pesawat ekor kembar memiliki dua, yang diatur secara vertikal, dan berpotong atau dipasang ke ujung Horizontal Stabilizer. Beechcraft Model 18 dan banyak pesawat militer modern seperti F-14 Amerika, F-15, dan F / A-18 menggunakan konfigurasi ini. F / A-18, F-22 Raptor, dan F-35 Lightning II memiliki sirip ekor yang dimiringkan ke luar, sehingga memiliki otoritas sebagai permukaan kontrol horizontal. Kedua pesawat dirancang untuk membelokkan kemudi mereka ke

dalam saat lepas landas untuk meningkatkan momen pitching. Ekor kembar dapat berupa konstruksi ekor-H, sirip kembar / kemudi yang dipasang pada badan pesawat tunggal seperti B-25 Mitchell Amerika Utara atau Avro Lancaster, atau ekor kembar, badan pesawat belakang terdiri dari dua badan pesawat terpisah masing-masing memiliki satu sirip tunggal/kemudi, seperti Lockheed P-38 Lightning atau C-119 Boxcar.

- Ekor tiga

Variasi pada ekor kembar, memiliki tiga Vertical Stabilizer. Contoh konfigurasi ini adalah Lockheed konstelasi. Pada konstelasi itu dilakukan untuk memberikan area Vertical Stabilizer maksimum pesawat sambil menjaga ketinggian keseluruhan cukup rendah sehingga bisa masuk ke dalam hangar perawatan.

- Ekor empat

Variasi lain pada ekor kembar, dengan empat stabilisator vertical. Contoh paling menonjol adalah pesawat Northrop Grumman E-2 Hawkeye AEW & C yang digunakan oleh angkatan laut Amerika Serikat. Contoh lain yang mungkin adalah Xian KJ-600 yang sedang dikembangkan dan dikabarkan akan melayani angkatan laut Tentara Pembebasan Rakyat dalam waktu dekat

- V-tail

V-tail tidak memiliki stabilisator vertical atau horizontal yang berbeda sebaliknya, mereka digabung menjadi permukaan kontrol yang dikenal sebagai ruddervators yang mengontrol pitch dan yaw. Susunannya terlihat seperti huruf V, dan dikenal juga sebagai ekor kupu-kupu. Beechcraft Bonanza model 35 menggunakan konfigurasi ini, seperti halnya Lockheed

F-117 Nighthawk, Northrop YF-23, dan banyak seri HP Richard Schreder dari pesawat terbang laying buatan sendiri.

- Winglet

Winglet adalah sebuah komponen aerodinamika yang terpasang di ujung sayap (wing) pesawat terbang. Winglet biasanya berbentuk segitiga dan berfungsi untuk mengurangi turbulensi dan memperbaiki efisiensi bahan bakar pesawat.

Dengan mengurangi turbulensi di ujung sayap, winglet dapat mengurangi resistensi (drag) aerodinamis pada pesawat. Hal ini dapat meningkatkan kecepatan dan efisiensi bahan bakar pesawat, karena pesawat dapat terbang dengan lebih sedikit daya mesin yang dibutuhkan.

Winglet bertugas ganda pada konfigurasi pendorong canard burt Rutan Varieze dan Long-EZ, bertindak sebagai perangkat ujung sayap dan penstabil vertical. Beberapa turunan lain dari pesawat ini dan pesawat serupa lainnya menggunakan desain ini. (Tria)

John Anderson Jr. - Profesor Emeritus Teknik Aerospasial di Universitas Maryland dan penulis buku "Introduction to Flight", yang membahas jenis-jenis ekor pesawat terbang dan konsep-konsep dasar penerbangan. (Menulis, 1978).

11.2 Desain Dan Kontruksi

Empennage atau ekor pesawat terbang terdiri dari tiga komponen utama, yaitu stabilizer horizontal, fin vertikal, dan rudder. Desain dan konstruksi dari setiap komponen harus mempertimbangkan beberapa faktor, seperti aerodinamika, kekuatan, dan keseimbangan.

Stabilizer horizontal berfungsi untuk menghasilkan gaya angkat dan mengontrol gerakan pitch atau gerakan naik-naik-turun

pesawat. Stabilizer ini biasanya terletak terletak di bagian belakang pesawat dan terdiri dari satu atau dua sayap yang datar atau melengkung. Desain stabilizer horizontal harus memperhatikan kecepatan dan sudut serang pesawat saat terbang, serta berbagai factor lain seperti beban yang diterima, kekuatan material, dan keseimbangan pesawat.

Fin vertical berfungsi untuk menghasilkan gaya angkat dan mengontrol gerakan yaw atau Gerakan miring pesawat. Fin vertical ini biasanya terletak di bagian belakang pesawat dan berbentuk seperti segitiga. Desain fin vertical harus memperhatikan kecepatan pesawat, sudut serang, beban yang diterima, dan stabilizer pesawat saat terbang.

Rudder berfungsi untuk mengontrol gerakan yaw pesawat dengan mengubah sudut kemiringan fin vertikal. Rudder biasanya terletak di ujung fin vertikal dan terdiri dari satu sayap datar atau melengkung. Desain rudder harus memperhatikan kecepatan pesawat, sudut serang, dan keseimbangan pesawat saat terbang.

Material yang digunakan dalam konstruksi empennage harus mempertimbangkan kekuatan dan keamanan pesawat saat terbang. Umumnya, material yang digunakan untuk empennage adalah bahan komposit atau aluminium yang ringan, kuat, dan tahan karat. Selain itu, teknologi terbaru seperti 3D printing dan material baru seperti karbon nanotube juga sedang dikembangkan untuk meningkatkan performa dan keamanan empennage.

Secara keseluruhan, desain dan konstruksi empennage harus memperhatikan berbagai faktor seperti aerodinamika, kekuatan, dan keseimbangan untuk menghasilkan sistem yang aman, stabil, dan efisien dalam penerbangan pesawat.

11.3 Jenis Material

Ekor pesawat terbuat dari berbagai material yang bertujuan untuk menciptakan sebuah struktur yang kuat dan ringan. Beberapa material yang umum digunakan dalam pembuatan ekor pesawat adalah sebagai berikut:

1. **Baja ringan** : Baja ringan atau alloy dibuat dari campuran logam seperti aluminium, magnesium, dan titanium. Material ini sering digunakan pada struktur utama ekor pesawat karena kekuatannya yang tinggi dan ringan sehingga mampu menahan beban dan tekanan yang dihasilkan saat pesawat terbang.
2. **Komposit** : Komposit terdiri dari serat yang diperkuat dengan resin. Material ini memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi serta ringan. Komposit sering digunakan untuk membuat bagian ekor pesawat seperti horizontal stabilizer dan vertical stabilizer.
3. **Kayu** : Sebelum era pesawat modern, material kayu sering digunakan dalam pembuatan struktur pesawat termasuk ekor pesawat. Kayu memiliki kekuatan yang baik dan mudah diproses, namun saat ini penggunaannya sudah semakin jarang karena ketersediaannya yang terbatas dan sulit untuk dirawat.
4. **Plastik** : Plastik seperti polikarbonat dan akrilik sering digunakan untuk membuat jendela pada bagian ekor pesawat. Material ini tahan terhadap tekanan dan memiliki sifat transparan yang baik.
5. **Bahan lain** : Selain material di atas, ada juga beberapa bahan lain yang sering digunakan pada pembuatan ekor pesawat seperti kaca, karet, dan kain. Kaca biasa digunakan untuk membuat jendela yang tidak transparan, sedangkan karet dan kain digunakan pada bagian-bagian kecil seperti seal dan perlengkapan lainnya.

11.4 Aerodinamika Dan Prinsip-Prinsip

Bagian ekor pesawat terbang memiliki peran penting dalam mempengaruhi aerodinamika dan stabilitas pesawat selama penerbangan. Berikut adalah prinsip-prinsip aerodinamika yang terlibat dalam bagian ekor pesawat terbang:

1. Prinsip Gerak *Newton* : Sesuai dengan hukum ketiga Newton, setiap aksi memiliki reaksi yang sama besarnya tetapi berlawanan arahnya. Oleh karena itu, ketika ekor pesawat diputar ke satu arah, pesawat akan mengalami reaksi yang seimbang dalam arah yang berlawanan, sehingga membuat pesawat lebih stabil.
2. Prinsip *Bernoulli* : Prinsip ini menjelaskan bahwa tekanan udara di sekitar sayap pesawat akan berkurang ketika kecepatan udara meningkat. Oleh karena itu, profil sayap yang dirancang secara khusus akan membantu menciptakan area tekanan rendah pada bagian atas sayap dan area tekanan tinggi pada bagian bawah sayap. Prinsip ini juga berlaku pada bagian ekor pesawat, di mana profil *aerodinamis* ekor yang dirancang dengan baik akan membantu menciptakan kestabilan dan kendali pesawat.
3. Prinsip Momentum: Ketika sayap dan ekor pesawat menghasilkan gaya angkat, maka udara yang melewati bagian bawah sayap dan ekor akan mengalami penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan. Prinsip ini juga berlaku ketika pesawat mengalami perubahan arah dan tinggi selama penerbangan, di mana ekor pesawat dapat menghasilkan momen yang diperlukan untuk mengubah arah dan ketinggian pesawat.

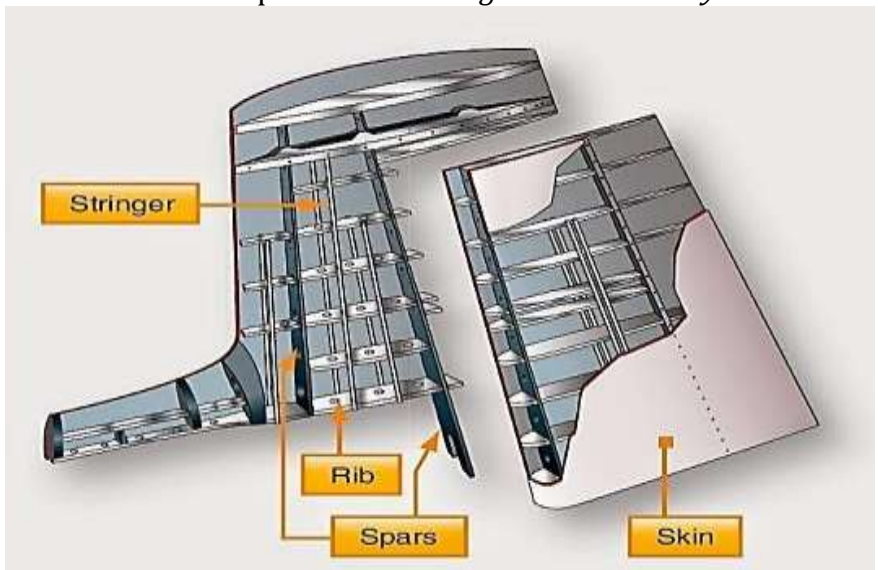
Dalam keseluruhan, bagian ekor pesawat dirancang untuk memberikan stabilitas, kontrol, dan manuverabilitas pesawat selama penerbangan. Perancangan yang baik dari profil aerodinamis, sudut kemiringan, dan ukuran bagian ekor sangat penting dalam memastikan keamanan dan performa pesawat.

11.5 Jenis-Jenis Bagian Ekor Pesawat

11.5.1 Stabilizer

Merupakan bidang-bidang untuk membuat sebuah pesawat udara menjadi stabil saat mengudara dimana *stabilizer* terdiri dari bidang *airfoil vertical* dan bidang *airfoil horizontal*, keduanya biasa disebut *vertical stabilizer* atau *fin* dan *horizontal stabilizer*. Di bidang *vertical stabilizer* dipasang bidang kontrol yang disebut *rudder*, dan di bidang *horizontal stabilizer* dipasang bidang kontrol yang disebut *elevator*.

Fungsi utama dari *stabilizer* adalah untuk menjaga pesawat udara agar selalu dalam kondisi terbang lurus dan mendarat atau *level flight*. *Vertical stabilizer* menjaga *stabilitas* pesawat udara dengan tumpuan sumbu *vertical* untuk mempertahankan *directional stability*. *Horizontal stabilizer* menjaga *stabilitas* pesawat udara dengan tumpuan sumbu lateral untuk mempertahankan *longitudinal stability*.



Gambar 11.2. *Vertical Stabilizer*

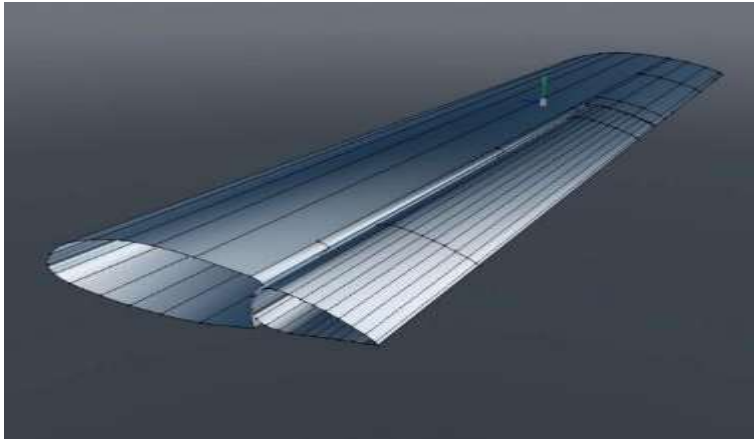
(Sumber : Fadjar Nugroho, Artikel 18 September 2008)

11.5.2 Aileron

(Wiratama,2016) *Aileron* adalah *control surface* yang pada umumnya terletak di *trailing edge* (bagian belakang sayap) pada ujung sayap kanan dan kiri. Gerakan dari *aileron* adalah berkebalikan, yaitu ketika salah satu *aileron* kebawah, sisanya bergerak keatas, sehingga menghasilkan gaya yang berlawanan dan menghasilkan gerakan *roll* pada pesawat. Gerakan *rolling* (atau gerakan di sekitar sumbu *longitudinal* pesawat), yang biasanya menghasilkan perubahan jalur penerbangan karena memiringkan sumbu arah terbang. Gerakan di sekitar sumbu ini disebut '*rolling*' atau '*banking*'.

Aileron memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Terletak pada sayap.
2. Merupakan bidang kendali pada saat pesawat melakukan *roll*.
3. Bergerak pada sumbu longitudinal (sumbu yang memanjang dari hidung hingga ke ekor pesawat)
4. Aileron dikendalikan dari kokpit dengan menggunakan kendali stik .
5. Jenis kestabilan yang dilakukan aileron adalah menstabilkan pesawat dalam arah lateral.
6. Pergerakan *aileron* berkebalikan antara kiri dan kanan, berdefleksi naik atau turun.



Gambar 11.3. Aileron

(Sumber : Fadjar Nugroho, Artikel 18 September 2008)

11.5.3 Rudder

Pada pesawat terbang, *rudder* adalah permukaan control arah yang terletak bersama dengan *elevator* seperti kemudi yang mengontrol *pitch* dan *roll*. *Rudder* biasanya melekat pada sirip (atau *vertical stabilizer*), yang memungkinkan pilot untuk mengontrol *yaw* dalam sumbu vertikal, yaitu mengubah arah *horizontal* pada hidung pesawat. (Wiratama, 2016) Ketika *rudder* terdefleksi kekanan, ekor akan tertarik ke kiri, sehingga akan menghasilkan hidung pesawat bergerak ke kanan dan pesawat akan berbelok ke kanan. Begitu juga sebaliknya untuk defleksi ke kiri. *Rudder* adalah *control surface* untuk mengontrol gerakan *yaw*, tetapi memiliki efek samping gerakan *roll*. Kontrol *rudder* yang terhubung dengan sistem pembelok *landing gear*, sehingga biasa digunakan untuk kontrol saat di darat

Rudder memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Terletak pada *vertical stabilizer*.
2. Merupakan bidang kendali pada saat pesawat melakukan *yaw*.
3. Bergerak pada sumbu vertikal (sumbu memanjang tegak

- lurus terhadap pusat gravitasi dari pesawat).
4. *Rudder* dikendalikan dari kokpit dengan menggunakan pedal *rudder*.
 5. Jenis kestabilan yang dilakukan *rudder* adalah menstabilkan pesawat dalam arah direksional.
 6. Pergerakan *rudder* berdefleksi ke kiri atau kanan.



Gambar 11.4. Rudder

(Sumber : Fadjar Nugroho, Artikel 18 September 2008)

11.5.4 Elevator

Adalah bagian dari horizontal stabilizer yang terletak di ujung belakang dan berfungsi untuk mengontrol pergerakan pesawat dalam arah naik atau turun. Elevators biasanya berupa permukaan yang bisa bergerak ke atas atau ke bawah dengan menggunakan sistem hidrolik atau kabel kontrol. Berikut adalah beberapa karakteristik elevators.

1. Berbentuk seperti sayap kecil
2. Bisa bergerak ke atas atau ke bawah
3. Menggunakan prinsip aerodinamika
4. Dapat diatur sudut kemiringannya
5. Memiliki sistem trim

11.5.5 Trim Tab

Trim tab adalah permukaan kecil yang terletak di bagian belakang elevators pada pesawat terbang dan berfungsi untuk mengatur kestabilan pesawat pada saat terbang lurus. Trim tab biasanya dapat digerakkan secara independen dari elevators dan diatur oleh pilot melalui sistem trim yang ada di kokpit pesawat.

Ketika pesawat terbang lurus, trim tab dapat diatur sehingga menghasilkan gaya aerodinamis yang membuat elevators tetap dalam posisi yang sama tanpa harus ditekan atau ditarik terus-menerus oleh pilot. Hal ini dapat mengurangi kelelahan pilot dan memperbaiki kinerja pesawat secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa karakteristik dari trim tab pada pesawat terbang.

1. Kecil
2. Dapat digerakkan secara independen
3. Dapat mengatur kestabilan pesawat
4. Menggunakan prinsip aerodinamika
5. Dapat diatur dengan sistem trim
6. Dapat mengurangi kelelahan pilot

11.5.6 Anti-icing system

Anti-icing system atau sistem anti-pembekuan adalah sistem yang dirancang untuk mencegah akumulasi es atau salju pada permukaan pesawat terbang, terutama pada sayap dan ekor pesawat. Akumulasi es atau salju pada permukaan pesawat dapat mengganggu aerodinamika pesawat dan mempengaruhi kinerja pesawat, bahkan dapat menyebabkan kecelakaan pesawat. Karakteristik dari Anti-icing system adalah sebagai berikut:

1. Jenis sistem: Terdapat dua jenis sistem anti-pembekuan, yaitu sistem anti-icing dan sistem de-icing. Sistem anti-icing digunakan untuk mencegah terbentuknya es pada permukaan pesawat, sedangkan sistem de-icing digunakan untuk menghilangkan lapisan es yang sudah terbentuk pada permukaan pesawat.

2. Metode pemanasan: Sistem anti-pembekuan menggunakan metode pemanasan untuk mencegah pembekuan pada permukaan pesawat. Pemanasan dapat dilakukan dengan menggunakan udara panas, cairan pemanas, atau kabel pemanas yang dipasang pada permukaan pesawat.
3. Lokasi: Sistem anti-pembekuan terutama dipasang pada sayap, sirip, dan pengendali pesawat seperti roda kemudi dan elevator. Namun, terkadang sistem anti-pembekuan juga dipasang pada bagian lain dari pesawat, seperti intake mesin dan windshield.
4. Pengendalian: Sistem anti-pembekuan biasanya dikendalikan oleh pilot atau sistem otomatis. Pilot dapat menyalakan atau mematikan sistem anti-pembekuan secara manual, sedangkan sistem otomatis dapat mendeteksi kelembaban dan suhu udara untuk mengaktifkan atau mematikan sistem anti-pembekuan secara otomatis.

Latihan Soal Pilihan Ganda

1. Fungsi utama ekor pesawat terbang adalah:
 - a. Menstabilkan pesawat dalam penerbangan.
 - b. Menampung penumpang dan kargo.
 - c. Menyediakan ruang untuk mesin pesawat.
 - d. Mengurangi hambatan aerodinamis.
2. Komponen utama dari ekor pesawat terbang adalah:
 - a. Stabilizer horizontal (*horizontal stabilizer*).
 - b. Stabilizer vertikal (*vertical stabilizer*).
 - c. Sayap (*wing*).
 - d. Kabin penumpang.
3. Fungsi stabilizer horizontal pada ekor pesawat adalah:
 - a. Mengendalikan pergerakan yaw (sikap horizontal).
 - b. Mengendalikan pergerakan roll (sikap lateral).
 - c. Mengendalikan pergerakan pitch (sikap longitudinal).
 - d. Mengurangi turbulensi di ujung sayap

4. Stabilizer vertikal pada ekor pesawat berfungsi untuk:
 - a. Mengendalikan pergerakan yaw (sikap horizontal).
 - b. Mengendalikan pergerakan roll (sikap lateral).
 - c. Mengendalikan pergerakan pitch (sikap longitudinal).
 - d. Menyediakan stabilitas struktural.
5. Bagian ekor pesawat yang berfungsi untuk mengurangi hambatan aerodinamis dan turbulensi di ujung sayap disebut:
 - a. Winglet.
 - b. Flap.
 - c. Spoiler.
 - d. Elevator.
6. Fungsi dari elevator pada ekor pesawat adalah:
 - a. Mengendalikan pergerakan yaw (sikap horizontal).
 - b. Mengendalikan pergerakan roll (sikap lateral).
 - c. Mengendalikan pergerakan pitch (sikap longitudinal).
 - d. Mengurangi turbulensi di ujung sayap.
7. Pada pesawat terbang, sistem kontrol penerbangan (flight control system) digunakan untuk mengendalikan pergerakan ekor pesawat. Salah satu jenis sistem kontrol penerbangan yang umum digunakan adalah:
 - a. Fly-by-wire.
 - b. Manual control.
 - c. Hydraulic control.
 - d. Pneumatic control.
8. Bagian ekor pesawat yang berfungsi untuk mengendalikan pergerakan yaw (sikap horizontal) adalah:
 - a. Aileron.
 - b. Rudder.
 - c. Elevator.
 - d. Spoiler.
9. Pada pesawat dengan ekor kembar (twin tail), stabilizer vertikal di bagian ekor pesawat terbagi menjadi dua

bagian. Apa alasan utama dibalik penggunaan desain twin tail ini?

- a. Meningkatkan stabilitas dan manuverabilitas pesawat.
 - b. Mengurangi hambatan aerodinamis.
 - c. Mengurangi bobot total pesawat.
 - d. Memudahkan proses perakitan pesawat.
10. Bagian ekor pesawat yang dapat dibagi menjadi dua bagian pada desain twin tail disebut:
- a. Stabilizer.
 - b. Rudder.
 - c. Elevator.
 - d. Aileron.

Latihan Soal Essay

1. Jelaskan peran dan fungsi stabilizer horizontal pada ekor pesawat. Bagaimana stabilizer horizontal membantu dalam menjaga stabilitas pesawat selama penerbangan ?
2. Gambarkan dan jelaskan fungsi dari stabilizer vertikal dan rudder pada ekor pesawat. Mengapa pergerakan yaw (sikap horizontal) penting dalam penerbangan ?
3. Apa peran elevator dalam kontrol pesawat? Jelaskan bagaimana elevator berfungsi dalam mengendalikan pergerakan pitch (sikap longitudinal) pesawat.
4. Bagaimana winglet dapat mengurangi hambatan aerodinamis di ujung sayap pesawat? Jelaskan manfaat penggunaan winglet dalam penerbangan.
5. Diskusikan pentingnya sistem kontrol penerbangan (flight control system) dalam mengendalikan pergerakan ekor pesawat. Jelaskan jenis sistem kontrol penerbangan yang umum digunakan dan bagaimana sistem tersebut beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Zainal. 2012. *Evaluasi Pembelajaran*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Islam Kementerian Agama RI.
- Al-Fadli, M. J., & Adyanto, T. W. 2018. Analisis Human Factor untuk Mengurangi Masalah pada Perawatan Pesawat Udara. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP) Tahun 2018, 1-4.
- Dephub. 2020, Januari. Lalu Lintas Angkutan Udara 2019. Dipetik Februari 11, 2020, dari <http://hubud.dephub.go.id/website/AULLU.php>
- Gunawan, R. 2018, Agustus 12. 12-8-1985: Ekor Lepas, Pesawat Lalu Menabrak Gunung di Jepang. Dipetik Desember 8, 2019, dari <https://www.liputan6.com/global/read/3616362/12-8-1985-eko>
- Roskam, J. 2018. Airplane Design: Part 2: Preliminary Configuration Design and Integration of the Propulsion System. DARcorporation.
- Raymer, D. 2012. Aircraft Design: A Conceptual Approach. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Kermode, A. 2013. Mechanics of Flight. Pearson Education Limited.
- Shevell, R. 2008. Fundamentals of Flight. Prentice Hall.
- Perkins, C., & Hage, R. 2015. Airplane Performance Stability and Control. Wiley.
- Torenbeek, E. 2013. Advanced Aircraft Design: Conceptual Design, Analysis, and Optimization of Subsonic Civil Airplanes. Wiley.
- McCormick, B. 2013. Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics. Wiley.
- Abbott, I. H., & Von Doenhoff, A. E. 1959. Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data. Dover Publications.
- Anderson, J. D. 2010. Introduction to Flight. McGraw-Hill Education.
- Mattingly, J. D., & Heiser, W. H. 2005. Aircraft Engine Design. AIAA.

BIODATA PENULIS

Enggar Alfianto, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro dan Teknik Informatika
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Penulis lahir di Tuban tahun 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Elektro dan Teknik Informatika Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika di Universitas Airlangga, melanjutkan jenjang S2 pada Jurusan Sains Komputasi ITB dan S3 di Jurusan *Precision Science & Technology and Applied Physics* Universitas Osaka Jepang. Penulis menekuni bidang Fisika komputasi, modeling dan simulasi. Selama S3, penulis menekuni bidang ilmu yang berfokus pada interaksi plasma dengan larutan secara simulasi.

Mata kuliah yang pernah diampu penulis adalah sistem tertanam (*embedded system*). Salah satu bab nya membahas mengenai pemanfaatan sistem tertanam yang digunakan di pesawat terbang (*fly by wire*).

BIODATA PENULIS



Ni Putu Yuni Nurmalasari, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Udayana

Penulis lahir di Gianyar tanggal 16 Juni 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Dosen Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana, Bali. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika dan melanjutkan pendidikan S2 pada Jurusan Fisika di Institut Teknologi Bandung. Penulis memiliki ketertarikan dalam pengajaran ilmu fisika, penelitian di bidang keahlian fisika kebumihan, material, serta kajian fenomena dan pemodelan fisis di berbagai bidang.

BIODATA PENULIS



Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T.

Dosen Jurusan Teknik Permesinan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Penulis menyelesaikan pendidikan magister di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2014, dan sarjana di Jurusan Fisika Universitas Airlangga pada tahun 2012. Saat ini aktif aktif mengajar sebagai dosen di Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sejak 2015. Aktif melakukan penelitian di bidang Energi Baru dan Terbarukan, sistem rekayasa Fisika, mekanika, dan thermodinamika untuk permesinan. Mengampu mata kuliah Fisika Terapan, Termodinamika dan Perpindahan Panas pada jurusan Teknik Permesinan Kapal. Bidang penelitian yang ditekuni adalah energi terapan untuk industri dan rumah tangga, Teknologi Energi Baru Terbarukan, serta Manajemen Energi. Saat ini aktif menulis artikel ilmiah baik jurnal nasional maupun Internasional.

BIODATA PENULIS



Sutiyono

Dosen tetap Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin Universitas
Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Penulis lahir di Surabaya tanggal 13 Juli 1960. Penulis hingga saat ini menjadi dosen tetap Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Alhamdulillah Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 1986 di jurusan Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta lulus tahun 1995. Sampai saat ini Penulis menjadi pengurus Badan Pembina Olahraga Mahasiswa Indonesia (Bapomi) Jawa Timur periode 2023-2027. Semoga materi yang penulis berhasil selesaikan menjadi buku ini dapat bermanfaat.

BIODATA PENULIS



Amal Fatkhulloh

Dosen Program Studi Teknik Pesawat Udara
Politeknik Penerbangan Indonesia Curug (PPIC)

Penulis Lahir di Kediri pada 29 September 1969. Penulis sebagai dosen vokasi di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug (PPICurug) dan instruktur AMTO 147 pada program studi Diploma IV Teknik pesawat Udara, yang mencerminkan pendidikan vokasi dalam teknik perawatan pesawat udara. Matkul yang pernah diampu aircraft tools, airframe, aerodinamika, kinematika, aircraft repair, aircraft electrical syatem, EWIS dan sistim mekanikal pesawt terbang. Pengalaman kerja sebagai Instruktur Teknik Pesawat Udara (PLP), Pembina Taruna/Mahasiswa (STPI), Dosen Teknik Pesawat Udara (STPI), Kaprodi DIII Teknik Mekanikal Bandara (STPI), Ketua jurusan Teknik Penerbangan (STPI), Puket II Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI), Kepala SPI Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI), *International Aviation Instructor of ICAO*, dan *Instructor of EASA (European Aviation Safety Agency)*.

BIODATA PENULIS



Ir. Badaruddin Anwar, S.Pd., M.Pd.

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar

Penulis lahir di Cikowang tanggal 15 Agustus 1975. Penulis adalah Dosen tetap pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Negeri Makassar tahun 2000 dan menyelesaikan Pendidikan S2 di universitas yang sama pada tahun 2005, menyelesaikan pendidikan profesi Insinyur di Universitas Muslim Indonesia, Makassar pada tahun 2017.

Kegiatan yang ditekuni saat ini adalah sebagai dosen tetap pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT Universitas Negeri Makassar sejak tahun 2007 sampai sekarang. Mata kuliah yang diajarkan antara lain: Pengujian dan Pemeriksaan Bahan, Pengetahuan Bahan Teknik, Kerja Mesin Produksi, serta Pengujian Las. Pesawat Angkat.

Relevansi hasil penelitian dengan "*Book Chapter*" adalah Skripsi dengan Judul " Pengaruh Gaya Terhadap Kesetimbangan Pesawat Terbang Pada PT. IPTN (Persero) Di Bandung.

BIODATA PENULIS



Cahyo Wibowo

Dosen Universitas Mpu Tantular Jakarta

Cahyo Wibowo, putra dari Alm. Bapak Suratno dan Ibu Sutarni terlahir di Wonogiri, 14 September 1972, Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila pada Tahun 2018. Kini penulis sedang bekerja sebagai karyawan perusahaan swasta bidang engineering sector energi yaitu *compressed natural gas* dan bekerja paruh waktu juga sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Mpu tantular Jakarta. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk bekerja di bidang engineering di perusahaan yang saat ini bekerja serta mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi.. Penulis juga aktif mengembangkan mesin-mesin dan peralatan yang digunakan dalam bisnis *compressed natural gas*. Dan beberapa telah dijournalkan selain itu penulis juga melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

BIODATA PENULIS



Roban, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Buana Perjuangan Karawang

Penulis lahir di Bekasi tanggal 05 Mei 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Buana Perjuangan Karawang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Industri dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Industri. Penulis menekuni bidang Menulis.