

DASAR DASAR FISIOLOGI PENERBANGAN

Ns. Dwi Ambarwati, S.Kep., MARS., FISQua



DASAR DASAR FISIOLOGI PENERBANGAN

Penulis:

Ns. Dwi Ambarwati, S.Kep., MARS., FISQua



DASAR DASAR FISIOLOGI PENERBANGAN

Penulis:

Ns. Dwi Ambarwati, S.Kep., MARS., FISQua

Desain Cover:

Ivan Zumarano

Tata Letak:

Deni Sutrisno

ISBN: 978-623-8411-52-8

Cetakan Pertama:

November, 2023

Hak Cipta 2023

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Copyright © 2023

by Penerbit Nuansa Fajar Cemerlang Jakarta

All Right Reserved

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku
ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

Nuansa Fajar Cemerlang

Grand Slipi Tower, Lantai 5 Unit F

Jl. S. Parman Kav 22-24, Palmerah

Jakarta Barat

Website: www.nuansafajarcemerlang.com

Instagram: @bimbel.optimal

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah saya panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Buku ini.

Buku ini disusun untuk memenuhi kebutuhan peserta pelatihan perawat penerbangan dasar. Sesuai dengan kompetensi peserta pelatihan perawat penerbangan dasar, maka Buku ini disusun dengan kualifikasi yang tidak diragukan lagi.

Pembahasan Buku ini dimulai dengan menjelaskan tujuan yang akan dicapai, Kelebihan Buku ini, Anda dapat melihat topik terkait dasar dasar fisiologi penerbangan.

Pembahasan yang akan disampaikan disertai dengan soal soal yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat ketercapaian peserta pelatihan.

Penyusun menyadari bahwa di dalam pembuatan Buku masih banyak kekurangan, untuk itu penyusun sangat membuka saran dan kritik yang sifatnya membangun. Mudah mudahan Buku ini memberi manfaat bagi perawat penerbangan.

Jakarta, 31 Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 LAPISAN ATMOSFER	1
A. Pendahuluan.....	2
B. Indikator Hasil Belajar.....	2
C. Sub Materi Pokok.....	2
BAB 2 HUKUM FISIKA PENERBANGAN	11
A. Pendahuluan.....	12
B. Indikator Hasil belajar.....	12
C. Sub Materi Pokok.....	12
D. Hukum Gas Fisik.....	13
E. Hukum Fisik Gas.....	17
BAB 3 BIODINAMIKA PENERBANGAN	20
A. Pendahuluan.....	21
B. Indikator Hasil Belajar.....	21
C. Sub Materi Pokok.....	21
D. Efek Percepatan.....	21
E. Akselerasi durasi panjang	22
BAB 4 FISIOLOGI & EFEK KETINGGIAN	29
A. Pendahuluan.....	30
B. Indikator Hasil belajar.....	30
C. Sub Materi Pokok.....	30
D. Tanda dan gejala hipoksia	36
E. Dekompresi cepat.....	42
BAB 5 LINGKUNGAN PENERBANGAN DAN PENGARUHNYA PADA PROSES EVAKUASI MEDIS UDARA.....	47
A. Pendahuluan.....	48
B. Indikator Hasil belajar.....	48
C. Sub Materi Pokok.....	49
BAB 6 BEBERAPA KONDISI YANG BERPENGARUH SELAMA MELAKUKAN PERJALANAN UDARA.....	58

A.	Pendahuluan.....	59
B.	Indikator Hasil Belajar.....	59
C.	Sub Materi Pokok.....	59
	REFERENSI.....	64
	SINOPSIS.....	66



MATERI POKOK



DESKRIPSI SINGKAT

Manusia mempunyai kemampuan luar biasa dalam beradaptasi dengan lingkungannya. Tubuh manusia melakukan penyesuaian terhadap perubahan suhu eksternal, menyesuaikan diri dengan variasi tekanan barometric dari satu lingkungan ke lingkungan lainnya, mengimbangi pergerakan dalam ruang dan perubahan postur tubuh sehubungan dengan gravitasi, dan melakukan semua penyesuaian ini bersamaan dalam memenuhi perubahan kebutuhan energy baik secara fisik ataupun mental. Tubuh manusia dapat menyesuaikan diri terhadap penurunan pasokan oksigen secara akut dan kronis dengan meningkatkan laju pernapasan, perubahan kimia dalam darah, dan dengan meningkatkan produksi sel darah merah. Namun, meskipun efisien, tidak adanya sama sekali oksigen akan menyebabkan kematian dalam waktu kurang lebih lima sampai delapan menit.

Dalam penerbangan, tuntutan terhadap mekanisme kompensasi tubuh adalah banyak dan dalam skala yang cukup besar. Perubahan lingkungan paling besar pada perubahan fisiologis selama penerbangan adalah tekanan barometrik. Di dalam Buku ini menjelaskan secara singkat tentang dasar-dasar fisiologi penerbangan, yang meliputi konsep lapisan atmosfer, hukum fisika dalam penerbangan, biodynamika penerbangan, efek ketinggian, lingkungan penerbangan dan perjalanan udara.

Hasil Belajar

Setelah mengikuti pelatihan ini, peserta mampu memahami dasar-dasar fisiologi penerbangan

Indikator Hasil Belajar

Setelah mengikuti mata pelatihan ini, peserta dapat :

1. Menjelaskan lapisan atmosfer
2. Menjelaskan hukum fisika dalam penerbangan
3. Menjelaskan biodynamika penerbangan
4. Memahami fisiologi dan efek ketinggian

5. Memahami lingkungan penerbangan dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia
6. Memahami kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara

Materi pokok pada mata pelatihan ini adalah:

1. Lapisan atmosfer
2. Hukum fisika dalam penerbangan
3. Biodinamika penerbangan
4. Fisiologi dan efek ketinggian
5. Lingkungan penerbangan dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia
6. Kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara

BAB 1

LAPISAN ATMOSFER



**Nuansa
Fajar
Cemerlang**

Materi Pokok 1

LAPISAN ATMOSFER

A. Pendahuluan

Lapisan Atmosfer merupakan lapisan pelindung yang berupa gas yang berfungsi melindungi seluruh kehidupan di bumi. Lapisan atmosfer dibagi menjadi 6 lapisan yang dibedakan berdasarkan karakteristik thermal, kepadatan, komposisi kimia dan pergerakan yaitu : ruang angkasa, eksosfer, ionosfer, stratosfer, tropopause, dan troposfer (lapisan yang paling dekat dengan permukaan bumi) (NOAA, 2023).

Troposfer merupakan bagian terendah dari atmosfer dan menyelimuti seluruh permukaan bumi, tekanan barometrik turun seiring dengan meningkatnya ketinggian (ketinggian vertikal di atas permukaan laut). Perubahan kondisi tersebut dapat berpengaruh terhadap perubahan fisiologis tubuh yang dapat meningkatkan risiko terjadinya penyakit ketinggian yang dikenal sebagai hypobarik hypoxia (Wyatt, 2014).

B. Indikator Hasil Belajar

1. Menjelaskan pengertian atmosfer
2. Memahami tekanan atmosfer
3. Memahami pembagian atmosfer
4. Memahami sifat-sifat atmosfer
5. Memahami komposisi struktur atmosfer
6. Memahami perubahan fisiologi tubuh manusia pada zona atmosfer

C. Sub Materi Pokok

1. Menjelaskan pengertian atmosfer
2. Memahami tekanan atmosfer
3. Memahami pembagian atmosfer
4. Memahami sifat-sifat atmosfer
5. Memahami komposisi struktur atmosfer
6. Memahami perubahan fisiologi tubuh manusia pada zona atmosfer

Uraian Sub Materi Pokok 1

Bapak ibu, setelah mengikuti penjelasan lapisan atmosfer Menurut Bapak ibu apakah lapisan atmosfer sulit? Tidak sulit Bapak ibu! Yuk pelajari materi dibawah ini!

1. Pengertian

Atmosfer adalah berbentuk gas selubung yang menutupi bumi. Batas atmosfer telah diperdebatkan selama bertahun-tahun. Sementara beberapa ilmuwan dan fisikawan menetapkan batas pada 35.000 mil, dan beberapa ahli biologi pada 50.000 kaki, sebagian besar ilmuwan, fisikawan, dan ahli meteorologi setuju bahwa batas yang lebih praktis adalah sekitar 1.000 mil laut.

Tanpa atmosfer tidak akan ada kehidupan di bumi. Atmosfer memberikan perlindungan dari sinar ultraviolet (UV) yang berbahaya, sinar kosmik, dan meteorit. Atmosfer juga melindungi bumi dari variasi suhu yang ekstrim. Ini mendukung kehidupan hewan dan tumbuhan melalui kandungan gasnya dan menyediakan hujan untuk bercocok tanam.

2. Tekanan atmosfer

Kami dibingungkan dengan berbagai unit tekanan, tidak ada yang tampaknya mudah dikonversi ke yang lain. Satuan SI untuk tekanan adalah Pascal, satu pascal (newton per meter persegi) adalah tekanan yang agak kecil sehingga kita telah terbiasa menggunakan kilopascal (kPa) dan bahkan megapascal (MPa). Tabel konversi antara satuan tekanan dan orde besarnya dapat ditemukan di akhir bab ini.

Satuan tekanan dapat didasarkan pada gaya per satuan luas (pon per inci persegi atau newton per meter persegi), ketinggian kolom cairan (milimeter air raksa meter air laut) atau lainnya, seperti milibar. Meskipun kita harus menggunakan kPa dalam segala hal medis, mmHg masih digunakan untuk tekanan darah dan untuk kenyamanan dalam fisiologi pernapasan. Logika di balik ini adalah mudah untuk memvisualisasikan jumlah antara sepuluh dan seratus (maka mil per jam pada speedometer mobil); Nilai PO₂ arteri dan jaringan berada dalam kisaran ini. Di Amerika Serikat Anda akan menerima tekanan barometrik dalam inci air raksa tetapi di Eropa akan dalam milimeter air raksa atau hektopaskal.

Seperti dijelaskan sebelumnya, gabungan berat, atau gaya, dari semua gas di atmosfer pada suatu titik tertentu memberi kita tekanan atmosfer kita. Saat Anda naik dari permukaan laut, tekanan atmosfer juga akan turun. Saat tekanan atmosfer turun, kepadatan udara menjadi kurang. Alasan utama fenomena ini terletak pada sifat kinetik atom dan molekul. Molekul, terutama gas, sangat kinetik, atau, dalam keadaan bergerak konstan. Saat tekanan di sekitar molekul berkurang, molekul akan bergerak lebih jauh. Hal ini menjelaskan mengapa udara menjadi kurang padat seiring bertambahnya ketinggian, sehingga menjelaskan fenomena pemuaian gas.

3. Pembagian atmosfer

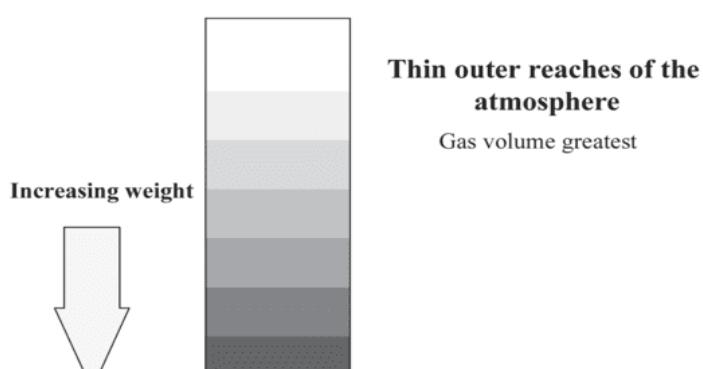
Selubung udara yang mengelilingi bumi bervariasi dalam tekanan dan suhu di seluruh ketinggiannya. Hal ini disebabkan perbedaan pemanasan udara oleh panas yang terpancar dari bumi. Sinar matahari menyinari bumi dengan sudut yang sangat rendah di kutub dan hampir vertikal di ekuator. Dengan demikian, lebih banyak panas yang dipancarkan ke udara di ekuator daripada di kutub menyebabkan udara naik lebih tinggi yang dapat memvariasikan ketinggian divisi Troposfer yang tercantum di bawah ini. Semua bagian atmosfer memiliki karakteristik khusus yang memisahkan mereka dari yang lain, sebagai berikut:

- a. Lapisan Troposfer, pada ketinggian diatas permukaan laut hingga 50.000 kaki dengan karakteristik suhu, uap air, turbulensi, badai, cuaca, tingkat sedang
- b. Lapisan Tropopause, memisahkan troposfer dan stratosfer merupakan daerah stabilitas suhu yang membentuk batas antara troposfer & stratosfer
- c. Lapisan Stratosfer pada ketinggian 50.000 kaki - 50 mil dengan karakteristik temperatur relatif konstan -55 derajat Celcius, sedikit uap air, aliran jet, sedikit turbulensi
- d. Lapisan Ionosfer, pada ketinggian 50 mil - 600 mil dengan karakteristik memberikan perlindungan dari sinar UV, mendapat nama dari gas terionisasi di dalam lapisan ini (sinar UV melepaskan elektron dari molekul gas dan menciptakan ion)
- e. Lapisan Eksosfer, pada ketinggian 600 mil - 1000 mil dengan karakteristik secara bertahap menjadi ruang hampa, tekanan dan kepadatan sangat kecil sehingga molekul gas jarang bertabrakan
- f. Ruang angkasa pada ketinggian Lebih dari 1000 mil

4. Sifat sifat atmosfer

Udara adalah campuran gas dan, seperti padatan atau cairan, gas mematuhi hukum fisika. Gravitasi adalah gaya yang menarik benda satu sama lain. Meskipun merupakan gaya yang sangat lemah, pada jarak yang sangat kecil atau ketika benda memiliki massa yang besar (atau keduanya) gaya gravitasi menjadi terukur. Meskipun memerlukan laboratorium penelitian untuk mendeteksi daya tarik yang sangat kecil antara dua bola timah yang masing-masing bermassa 1 kg berjarak beberapa sentimeter, dua kapal tanker minyak bermuatan penuh yang mengapung berdampingan akan ditarik bersama dengan gaya sekitar 5000 newton, sama seperti berat 500kg. Meskipun permukaan bumi berjarak 3200 km dari pusatnya,¹ benda bermassa 1 kg ditarik ke bawah dengan gaya 9,81 N (atau dengan kata lain memiliki berat)dari 1kg). Gravitasi inilah yang memberi bobot massa. Tidaklah penting apakah massa 1 kg itu padat, cair atau gas. Kita tentu lebih mengenal benda padat atau cair yang memiliki berat. Tetapi gas juga memiliki berat, dan berat udara di atas permukaanlah yang memberi kita tekanan atmosfer.

Atmosfer meluas ke atas lebih dari 50 mil (80 km), menjadi kurang padat dengan ketinggian. Sama seperti penunjuk pada satu set timbangan dapur akan menunjukkan lebih banyak dan lebih banyak berat saat kita menambahkan koin ke tumpukan di panci timbangan, demikian juga tekanan atmosfer meningkat jika ada ketinggian yang lebih besar dan oleh karena itu berat udara di atas kita (Gambar 1.). Sebaliknya jika Anda mengukur tekanan atmosfer di kaki gedung tinggi dan di atap, tekanan (yaitu, berat udara) di atap akan lebih kecil daripada di dasarnya. Jadi tekanan atmosfer turun dengan ketinggian. Kepadatan udara akan bervariasi, menjadi kurang padat di ketinggian, sehingga penurunan tekanan dengan ketinggian cepat di dekat permukaan laut dan lebih sedikit di ketinggian. Misalnya pendakian dari permukaan laut ke 1500 kaki (455 m) menghasilkan penurunan tekanan 44 mmHg sedangkan pendakian dari 46.000 kaki ke 47.500 kaki (juga perbedaan 1500 kaki/455 m) menghasilkan hanya 8 mmHg menjatuhkan. Pada 18.000 kaki (5486 m) setengah berat udara di bawah dan setengah di atas, tekanannya setengah dari permukaan laut, pada 33.500 kaki (10.210 m) itu adalah seperempat dan pada 53.000 kaki (16.154 m)) sepersepuluh.



Gambar 1. Atmosfer sebagai kolom

5. Komposisi struktur atmosfer

Campuran gas yang mengelilingi Bumi dalam selubung elastis yang fleksibel disebut atmosfer; itu meluas ke batas atas sekitar 50 mil (80 km). Secara konvensional ada tiga lapisan yang kedalamannya bervariasi, tergantung di mana pengukuran dilakukan di permukaan bumi (Gambar 2). Yang paling penting, dari sudut pandang penerbangan, adalah troposfer. Mencapai sekitar 20.000 kaki (6100 m) di kutub dan 65.000 kaki (19.800 m) di khatulistiwa, ia dipisahkan dari stratosfer oleh batas yang disebut tropopause.

Fenomena yang secara kolektif dikenal sebagai cuaca (aktivitas seperti awan, presipitasi, turbulensi, dan angin) terjadi di dalam troposfer, tetapi suhu, tekanan, dan kelembapan dapat diukur di seluruh atmosfer. Sebagian besar pesawat penumpang konvensional terbang terutama di troposfer, dan lapisan ini dicirikan oleh adanya uap air, laju penurunan suhu yang konstan dengan meningkatnya ketinggian (laju selang adiabatik), dan adanya arus udara vertikal skala besar. Di atas suhu tropopause tidak lagi turun dengan bertambahnya ketinggian.

Atmosfer adalah campuran gas. Ini terutama terdiri dari nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂). Karena gas atmosfer selain oksigen dan nitrogen sangat rendah persentasenya, mereka tidak akan dibahas dalam diskusi ini. Oleh karena itu mulai saat ini, kita akan menganggap atmosfer hanya terdiri dari oksigen dan nitrogen.

Tabel 2. Jenis-jenis gas atmosfer

GAS	PERSENTASE	GUNAKAN OLEH TUBUH
Nitrogen (N ₂)	80	Bagian utama dari total tekanan atmosfer atau berat. Gas bersifat inert di dalam tubuh dan hanya disimpan di jaringan dan sel.
Oksigen (O ₂)	20	Penting untuk kehidupan hewan. Mendukung metabolisme tubuh (pemecahan katabolik glukosa untuk produksi energi panas).
Argon (A)	jejak	Mulia (tidak ada fungsi tubuh)
Neon (Tidak)	jejak	Mulia (tidak ada fungsi tubuh)
Helium (Dia)	jejak	Mulia (tidak ada fungsi tubuh)
Kripton (Kr)	jejak	Mulia (tidak ada fungsi tubuh)

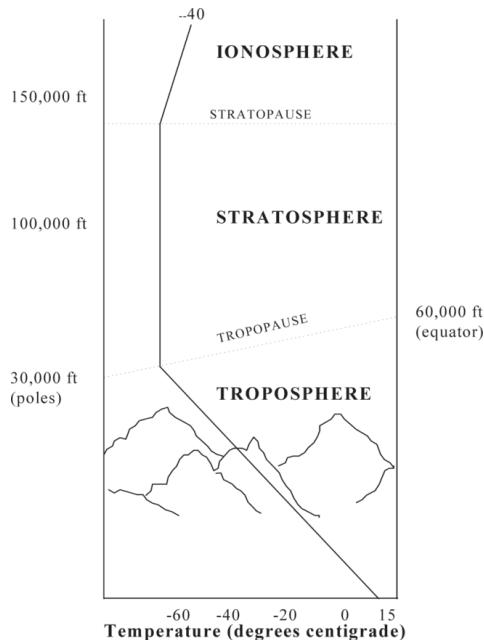
Xenon (Xe)	jejak	Mulia (tidak ada fungsi tubuh)
Hidrogen (H ₂)	jejak	(tidak ada fungsi tubuh)
Karbon dioksida	jejak	Produk akhir metabolisme.

6. Perubahan Fisiologi Tubuh Manusia Pada Zona Atmosfer

Cara lain untuk mengklasifikasikan pembagian atmosfer adalah dari sudut pandang efek fisiologis pada tubuh manusia.

Tabel 3. Klasifikasi zona pada atmosfer

ZONA	KETINGGIAN	TEKANAN	KARAKTERISTIK
Fisiologis Efisien Daerah	Permukaan Laut - 12.500 kaki	760 - 523 mm/Hg	Secara umum, tubuh telah beradaptasi untuk beroperasi di bagian bawah zona ini. Masalah kecil gas yang terperangkap (telinga, sinus, dan saluran GI) terjadi di bagian bawah zona ini sementara sesak napas, pusing, sakit kepala, dan kelelahan di bagian atas jika terpapar terlalu lama
Fisiologis Kurang Daerah	12.500 - 50.000 kaki	523 - 87 mm/Hg	Mayoritas penerbangan dilakukan di zona ini. Kurangnya tekanan atmosfer menyebabkan masalah fisiologis utama... hipoksia dan penyakit dekompreksi
Ruang angkasa Setara Daerah	50.000 kaki - 1000 mil	87 - 0 mm/Hg	Lingkungan ini sangat tidak bersahabat dengan manusia. "Garis Armstrong" berada di ketinggian 63.000 kaki dan setiap paparan yang tidak terlindungi di atas level ini menyebabkan cairan tubuh mendidih. Ada kebutuhan untuk kabin tertutup dan pendorong pada pesawat udara/ ruang angkasa.



Gambar 2. Tiga lapisan atmosfer

Udara terdiri dari materi. Oleh karena itu memiliki sifat massa dan kepadatan (massa per satuan volume) dan, sebagai gas, dapat dikompresi. Komponen utamanya adalah oksigen (21 persen) dan nitrogen (78 persen). Untuk tujuan praktis, gas minoritas yang tersisa dapat diabaikan karena mereka tidak berperan dalam fisiologi pernapasan normal. Proporsi gas dijaga konstan di seluruh troposfer karena aksi pencampuran arus udara vertikal. Kandungan uap air akan bervariasi tergantung pada lokasi, ketinggian, dan suhu, karena udara hangat memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk membawa uap air dibandingkan dengan udara dingin. Karena suhu lebih rendah di ketinggian, udara yang dimampatkan dan dibawa ke kabin pesawat pasti memiliki kelembapan yang rendah.



Dari beberapa pengertian atmosfir diatas, silakan jelaskan pengertian atmosfir dengan menggunakan bahasa Bapak Ibu sendiri!

Atmosfer adalah gas selubung yang melapisi bumi, yang terdiri dari beberapa lapisan. Diantaranya ruang angkasa, eksosfer, Ionosfer, stratosfer, tropopause, dan troposfer.

Anda telah menyelesaikan kegiatan belajar 1. Bagaimana dengan materinya? Menarik bukan? Yuk istirahat sejenak untuk memulihkan konsentrasi



Sekarang Saya Tahu

1. Pengertian Atmosfer
2. Tekanan atmosferY
3. Macam-macam atmosfer
4. Sifat-sifat atmosfer
5. Perubahan fisiologis tubuh manusia terhadap zona atmosfer

BAB 2

HUKUM FISIKA PENERBANGAN



BAB 2

HUKUM FISIKA PENERBANGAN

A. Pendahuluan

Penerbangan merupakan bidang yang berkaitan erat dengan hukum fisika. Hukum fisika yang dimaksut merupakan hukum gas, yang digambarkan sebagai hubungan antara suhu, tekanan, dan volume untuk sejumlah gas tertentu. diantaranya sebagai berikut : hukum Dalton, hukum Boyle, hukum Henry, hukum Graham, dan hukum Charles(Tarver et al., 2022).

Hukum Boyle digunakan untuk menggambarkan pengaruh ketinggian terhadap gas di rongga tertutup di dalam tubuh. Hukum Charles digunakan untuk menggambarkan perubahan suhu terhadap berubahan suatu gas (seperti hidrogen). Hukum Gay-Lussac menjelaskan hubungan antara tekanan dan suhu. Hukum Dalton menjelaskan perubahan kandungan gas tertentu di atmosfer pada ketinggian berbeda (Chandan and Cascella, 2019). Penerapan utama hukum Henry dalam fisiologi pernafasan adalah untuk memprediksi bagaimana gas akan larut dalam alveoli dan aliran darah selama pertukaran gas (Avishay and Tenny, 2023). Memahami dan mengaplikasikan hukum gas merupakan foundasi dasar dalam memahami efek perubahan tekanan terhadap tubuh manusia.

B. Indikator Hasil belajar

1. Memahami hukum Dalton dalam penerbangan
2. Memahami hukum Boyle dalam penerbangan
3. Memahami hukum Henry dalam penerbangan
4. Memahami hukum Graham dalam penerbangan
5. Memahami hukum Charles dalam penerbangan

C. Sub Materi Pokok

1. Hukum Dalton dalam penerbangan
2. Hukum Boyle dalam penerbangan
3. Hukum Henry dalam penerbangan
4. Hukum Graham dalam penerbangan
5. Hukum Charles dalam penerbangan

Uraian Sub Materi Pokok 2

Bapak ibu, setelah mempelajari hukum fisika penerbangan Menurut Bapak Ibu apakah hukum fisika penerbangan sulit? Tidak sulit Bapak ibu! Yuk pelajari materi dibawah ini!

D. Hukum Gas Fisik

Sebelum bekerja dan merawat pasien di lingkungan transportasi udara, ada baiknya penting untuk memahami hukum gas fisik: Boyle, Dalton, dan Henry & hukum Charles.

1. Hukum Boyle (Efek Ketinggian pada Volume Gas)

Hukum Boyle mendefinisikan hubungan mengenai kompresi dan ekspansi gas. Sejumlah gas tertentu pada suhu konstan, volume berbanding terbalik dengan tekanan (Hou, 2021). Udara yang terdapat dalam rongga tubuh akan mengalami perubahan volumetrik akibat perubahan ketinggian dan tekanan kabin yang menyertai selama penerbangan komersial. Hal ini akan memiliki konsekuensi bagi penumpang yang baru saja menjalani prosedur pembedahan, di mana udara yang terperangkap di dalam ruang toraks atau perikardium dapat mengembang selama kondisi hipobarik (Evans, Creaton and Kennedy, 2017).

Hukum Boyle: $P_1 V_1 = P_2 V_2$

"Ketika suhu tetap tidak berubah, volume massa tertentu gas bervariasi berbanding terbalik dengan tekanannya."

Dalam istilah penerbangan, saat pesawat Anda naik, ketinggiannya meningkat, tekanan barometrik berkurang. Setiap gas dalam ruang tertutup akan berkembang. Atau, saat pesawat turun dan barometrik tekanan meningkat, gas akan berkontraksi. Bayangkan sebuah balon mengembang di permukaan laut. Pada ketinggian 18.000 kaki balon ini akan berukuran kira-kira dua kali lipat volume permukaan lautnya, dan pada ketinggian 25.000 kaki, itu kira-kira tiga kali volume aslinya. Mendarat di permukaan laut akan kembali balon ke volume awalnya.

Secara klinis, adalah bijaksana bagi anggota awak pesawat untuk menyadari bahwa setiap peralatan atau rongga tubuh yang mengandung gas

akan dikenakan : efek ekspansi gas itu dengan naik dan turunnya. Contoh klinis termasuk barotitis media dari gas yang terperangkap mempengaruhi pada telinga tengah, barosinusitis dari ekspansi gas di sinus, barodentalgia dari kantong udara di gigi, dan ekspansi gas gastrointestinal.

2. Hukum Dalton (Pengaruh Ketinggian Terhadap Ketersediaan Oksigen)

Hukum Dalton menyatakan bahwa tekanan total campuran gas sama dengan jumlah tekanan parsial masing-masing komponen gas. Tekanan parsial adalah tekanan yang akan diberikan oleh masing-masing gas jika gas tersebut menempati volume campuran pada suhu yang sama. Ketika ketinggian meningkat dan tekanan atmosfer turun, tekanan parsial oksigen turun bersamaan (Thomson, 2015). Penerbangan komersial konvensional menggunakan pesawat kabin bertekanan memungkinkan pengangkutan penumpang dan awak pesawat ke ketinggian, antara 6.000 m (20.000 kaki) dan 13.500 m (44.000 kaki). Peraturan penerbangan menetapkan bahwa tekanan ambien kabin tidak boleh melebihi 2438m (8000 kaki) pada ketinggian pengoperasian maksimum pesawat (Evans, Creaton and Kennedy, 2017).

Pada ketinggian 8.000 kaki dengan tekanan kabin sebesar 2438 m, tekanan parsial oksigen kabin adalah 118 mm Hg, pO₂ arteri adalah 62-67 mm Hg dan saturasi oksigen dipertahankan pada 90%-93%. Penumpang dengan riwayat gangguan kardiovaskuler (gagal jantung sistolik, penyakit jantung sianotik, penyakit paru obstruktif kronis atau asma yang tidak terkontrol), berisiko terkena hipobaria ringan. Dengan demikian, untuk evakuasi medis udara pada pasien dengan kondisi tersebut harus disiapkan oksigen tambahan sesuai ketentuan dalam penerbangan (Thomson et al., 2021).

Hukum Dalton: $P_t = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$

Hukum Dalton menyatakan "tekanan keseluruhan campuran gas adalah jumlah dari tekanan individu atau parsial dari semua gas dalam campuran.

Dalam istilah penerbangan, oksigen "lebih tipis" di atmosfer atas. Mengapa ? Di permukaan laut tekanan barometrik adalah 760 mm Hg , dan atmosfer terdiri dari 20,95% O₂. Dengan bertambahnya ketinggian, tekanan barometrik menurun, dan molekul-molekul dalam atmosfer bergerak lebih

jauh. Sementara oksigen masih terdiri 20,95% dari atmosfer, ada lebih sedikit partikel oksigen per milimeter kubik yang akan digunakan.

Secara klinis, peningkatan ketinggian mengurangi oksigen yang tersedia untuk tubuh dan dapat menyebabkan hipoksia. Misalnya, pada ketinggian 12.000 kaki tekanan barometrik menurun menjadi 483 mm Hg. Komposisi dari atmosfer tetap sama, dan persentase oksigen tetap pada 20,95 persen. Namun, tekanan parsial oksigen akan turun menjadi 101,19 mm Hg.

yaitu: Di permukaan laut: $PO_2 = 20,95 \text{ persen} \times 760 \text{ mm Hg} = 159,22 \text{ mm Hg}$

Pada 12.000 kaki: $PO_2 = 20,95 \text{ persen} \times 483 \text{ mm Hg} = 101,19 \text{ mm Hg}$

Dengan lebih sedikit oksigen yang tersedia untuk bernafas, hipoksia dapat terjadi. Satu studi pasien evakuasi medis udara menunjukkan penurunan P_{aO_2} dari 20 persen pada pasien yang diterbangkan di ketinggian rendah (3.000–3.800 kaki) dan penurunan 32-35 persen pada pasien yang terbang di ketinggian tinggi (6.000-7.500 kaki). Hingga 12.000 kaki dianggap sebagai *Zona Efisiensi Fisiologis* dan merupakan zona yang paling dapat diterima untuk fungsi fisiologis normal. Dari 12.000 hingga 50.000 kaki tekanan barometrik turun drastis dari 483 menjadi 87 mm Hg, dan suhu menurun, memerlukan intervensi untuk mendukung fungsi fisiologis normal. Di luar 50.000 kaki, bertekanan lingkungan adalah wajib, dan pada 120 mil, tanpa bobot terjadi, mewakili "ruang sebenarnya"

3. Hukum Henry (Pengaruh Perubahan Tekanan Terhadap Pembentukan Gas Bubble)

Hukum Henry menyatakan "...jumlah gas yang terlarut dalam 1 cm³ suatu cairan adalah sebanding dengan tekanan parsial gas yang bersentuhan dengan cairan". A botol soda adalah contoh dari hukum Henry yang berlaku. Dengan tutup pada botol soda tertutup gas berada dalam kesetimbangan dengan cairan. Kapan topinya ? dihapus, tekanan berkurang di dalam botol, memungkinkan gas gelembung di dalam cairan yang akan terbentuk. Seiring berjalannya waktu, gas mencapai keseimbangan dengan atmosfer, dan soda menjadi "datar".

Dalam istilah klinis, contoh kelarutan gas dalam cairan adalah penyakit dekompreksi (alias "tikungan"). Saat seorang penyelam naik, tekanan

berkurang pada gas nitrogen yang dilarutkan dalam darah. Naik terlalu cepat atau terbang dalam waktu 24 jam setelah menyelam mengakibatkan pembentukan gelembung nitrogen dalam darah, yang dapat menyebabkan konsekuensi klinis yang mengerikan. Perawatan termasuk 100 persen oksigen dan perawatan penurunan cepat di ruang hiperbarik dan mungkin diperlukan jika gejala tidak hilang.

Pembatasan ketinggian dalam transportasi udara merupakan pertimbangan yang jarang terjadi kasus. Saat mengangkut pasien dengan penyakit dekompreksi, ketinggian harus dibatasi kurang dari 1000 kaki di atas permukaan tanah. NS pneumotoraks yang tidak diobati merupakan kontraindikasi mutlak untuk transportasi udara.

Sebelum lepas landas, perawatan dengan tabung dada atau katup satu arah sementara sistem diperlukan. Penurunan ketinggian terbang menghasilkan peningkatan turbulensi, waktu terbang yang lebih lama, dan peningkatan konsumsi bahan bakar selama penurunan jangkauan pesawat, konsekuensi yang harus dipertimbangkan ketika pasien membutuhkan penerbangan ketinggian rendah

4. Hukum Graham

Laju difusi gas melalui cairan berhubungan langsung dengan kelarutan gas dan berbanding terbalik dengan akar kuadrat massa jenis atau berat gram molekulnya. Dengan kata lain, pada suhu dan tekanan yang sama, maka kecepatan efusi gas berbanding terbalik dengan akar kerapatananya. Karbon dioksida 19 kali lebih mudah terdifusi dibandingkan oksigen karena faktor kelarutan.

5. Hukum Charles (Pengaruh Suhu Terhadap Volume Gas)

$$\begin{array}{ccc} \text{Hukum Charles : } & V_1 & T_1 \\ & V_2 & = T_2 \end{array}$$

Hukum Charles menyatakan, "Ketika tekanan konstan, volume gas sangat hampir sebanding dengan suhu mutlaknya". Sebagai suhu meningkat, volume gas meningkat karena gerakan yang lebih cepat dari molekul. Dalam istilah penerbangan, pada ketinggian suhu lebih dingin, dan memiliki implikasi dalam kinerja pesawat.

Secara klinis, variasi suhu cenderung memiliki efek langsung pada kenyamanan pasien, dengan suhu yang sangat panas atau dingin meningkat metabolisme, kebutuhan oksigen, dan konsumsi oksigen. Panas juga mempengaruhi volume gas, menyebabkan ekspansi sebagai suhu naik. Untuk alasan ini, peralatan medis yang mengandung: gas perlu dilindungi dari suhu ekstrim.

E. Hukum Fisik Gas

Seorang manusia yang mengenakan pakaian jalanan sehari-hari, dengan cepat terpapar ke ketinggian 45.000 kaki, akan menjadi tidak sadarkan diri dalam 9 - 12 detik dengan kematian segera setelahnya. Unsur berbahaya di sini adalah berkurangnya tekanan parsial oksigen yang ditemukan di ketinggian ini. Karena udara adalah campuran gas, ia akan berperilaku seperti itu dan karenanya tunduk pada hukum yang mengatur semua gas. Hukum berikut menjelaskan efek penurunan tekanan barometrik dan interaksinya pada tubuh manusia.

Tabel 4. Hukum gas terhadap penurunan tekanan barometrik

Hukum Gas	Penjelasan	Aplikasi Penerbangan
Hukum Dalton $PT = P1 + P2 + \dots + PN$	Tekanan total campuran gas sama dengan jumlah tekanan parsial masing-masing gas dalam campuran	.HIPOKIA Menjelaskan bagaimana pendakian ke ketinggian mengurangi tekanan atmosfer total serta masing-masing tekanan parsial yang terkait dengan tekanan atmosfer total.
Hukum Boyle $P1 = V2 P2 V1$	Volume gas berbanding terbalik dengan tekanan yang dialaminya, suhu tetap konstan	GAS TERJANGKAU Menjelaskan bagaimana perubahan tekanan memungkinkan gas mengembang dan berkontraksi di rongga tubuh (telinga, sinus, dan saluran GI) dengan bertambahnya dan berkurangnya ketinggian.
Hukum Henry $P1 = A1 P2 A2$	Itu jumlah dari gas terlarut dalam larutan bervariasi secara langsung dengan tekanan gas tersebut di atas larutan.	PENYAKIT DEKOMPRESI Menjelaskan mengapa nitrogen dalam tubuh keluar dari larutan membentuk gelembung yang menyebabkan penyakit dekompreksi ketinggian. Saat ketinggian meningkat, tekanan menurun dan nitrogen akan berusaha meninggalkan tubuh dan

		menyamakan diri dengan lingkungan sekitarnya. Jika perubahan tekanan terlalu cepat, kelebihan nitrogen dapat membentuk gelembung.
Hukum Graham Hukum difusi gas	Suatu gas akan berdifusi dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah	TRANSFER GAS DALAM TUBUH Menjelaskan transfer gas antara atmosfer dan paru-paru, paru-paru dan darah, serta darah dan sel
Hukum Charles $P_1V_2 = P_2V_1$	Tekanan suatu gas berbanding lurus dengan suhunya.	Ini gas hukum memiliki TIDAK bantalan fisiologis karena suhu tubuh konstan 98,6 derajat Fahrenheit.



Dari beberapa pengertian hukum fisika gas diatas, silakan jelaskan pengertian hukum fisika gas dengan menggunakan

Hukum fisik gas merupakan erat kaitannya dengan dunia penerbangan yang mempengaruhi hubungan antara suhu, tekanan, dan volume untuk sejumlah gas tertentu.

Anda telah menyelesaikan kegiatan belajar 2. Bagaimana dengan materinya? Menarik bukan? Yuk istirahat sejenak untuk memulihkan konsentrasi!



Sekarang Saya Tahu

1. Hukum Dalton dalam penerbangan
2. Hukum Boyle dalam penerbangan
3. Hukum Henry dalam penerbangan
4. Hukum Graham dalam penerbangan
5. Hukum Charles dalam penerbangan

BAB 3

BIODINAMIKA PENERBANGAN



BAB 3

BIODINAMIKA PENERBANGAN

A. Pendahuluan

Biodinamika merupakan disiplin ilmu yang mempelajari dasar-dasar prinsip mekanik untuk menjelaskan respon tubuh manusia terhadap berbagai macam tekanan yang terjadi selama penerbangan. Tekanan tersebut diantaranya turbulensi, vibrasi, *g-forces* dan psikologis stresor lainnya (Martin, 2017). Biodinamika dalam penerbangan dibagi menjadi dua diantaranya percepatan linear dan percepatan radial. Biodinamika sangat berpengaruh terhadap keselamatan selama penerbangan. Mengingat hal tersebut maka memahami dasar-dasar prinsip biodinamika sangat dibutuhkan oleh crew pesawat.

B. Indikator Hasil Belajar

1. Memahami percepatan linier dalam penerbangan
2. Memahami percepatan radial dalam penerbangan

C. Sub Materi Pokok

1. Percepatan linier dalam penerbangan
2. Percepatan radial dalam penerbangan

Uraian Sub Materi Pokok 3

Bapak ibu, setelah mempelajari biodinamika penerbangan. Menurut Bapak Ibu apakah biodinamika penerbangan sulit? Tidak sulit Bapak ibu! Yuk pelajari materi dibawah ini!

D. Efek Percepatan

Kehidupan di dalam selubung gravitasi planet ini menghadapkan kita semua pada percepatan yang diarahkan ke pusat Bumi yang besarnya 32 ft/s^2 ($9,81 \text{ m/s}^2$). Tarikan gravitasi ini, ketika bekerja pada suatu massa, menimbulkan gaya yang kita kenal sebagai berat.¹ (1 Satu rotasi bumi membutuhkan waktu hampir 24 jam dan efek gravitasi pada segala sesuatu di planet ini tergantung pada

gaya sentrifugal yang dialami di lokasi objek. Oleh karena itu, berat suatu benda di ekuator lebih ringan daripada di kutub.

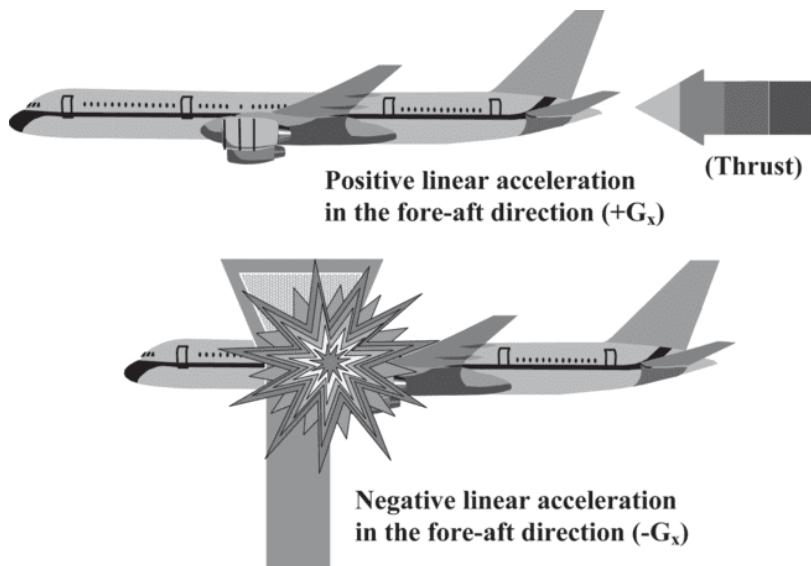
Semua bentuk kehidupan telah berevolusi untuk beroperasi di lingkungan '1 G' ini. Namun, sarana transportasi modern dapat memaparkan kita pada percepatan yang jauh lebih besar yang mungkin memiliki efek fisiologis atau patologis, tergantung pada durasi dan besarnya percepatan, arah, dan tingkat penerapannya. Akselerasi durasi pendek (durasi kurang dari satu detik) dapat mengakibatkan cedera atau kematian. Contohnya termasuk kekuatan yang dialami selama crash atau membolos dan, untuk pilot militer, pengoperasian kursi lontar, ketapel dek kapal induk, dan kejutan pembukaan parasut.

E. Akselerasi durasi panjang

Percepatan berdurasi lama yang melebihi 1 G menambah berat benda dan mengakibatkan perubahan fisiologis karena organ dan cairan tubuh mematuhi hukum ketiga Newton tentang gerak dan merespons dengan reaksi yang sama dan berlawanan dengan percepatan yang diterapkan. Dalam keadaan normal, penumpang pesawat penumpang cenderung hanya mengalami akselerasi ringan atau sedang dibandingkan dengan awak pesawat militer tangkas modern. Tapi, seperti pilot jet cepat dalam pertempuran, dua jenis akselerasi mungkin dialami:

1. Percepatan linier

Percepatan linier dihasilkan dari peningkatan atau penurunan laju gerakan sepanjang garis lurus (Gambar 3.). Dalam bentuk kecil ini akan ditemui saat lepas landas, dan juga dirasakan sebagai dorongan mesin jet terbalik selama pendaratan pesawat penumpang besar. Tidak ada konsekuensi fisiologis yang terjadi pada individu yang duduk normal ketika gaya diterapkan melintasi sumbu anteroposterior tubuh (arah sebenarnya tergantung pada cara penghuni duduk).



Gambar 3. Percepatan linier

Tandu pasien berbohong sejajar dengan sumbu panjang pesawat berada pada risiko pergeseran organ tubuh dan volume cairan dalam menanggapi gaya inersia percepatan linier. Ada beberapa bukti bahwa pergerakan darah menuju ekstremitas bawah memicu refleks baroreseptor dengan takikardia transien berikutnya pada subjek normal. Mungkin masuk akal untuk memposisikan pasien dengan penyakit jantung atau hipovolemia dengan kepala menghadap ke belakang pesawat untuk meningkatkan perfusi miokard karena percepatan menyebabkan pengumpulan darah di bagian atas tubuh. Untuk pasien dengan kelebihan cairan atau cedera kepala, mungkin menguntungkan untuk memposisikan kepala pasien ke arah depan pesawat sehingga akselerasi bertindak untuk mengumpulkan darah di ekstremitas bawah.

Untuk pasien cedera kepala, ini dapat mengurangi risiko peningkatan tekanan intrakranial (TIK) sementara selama lepas landas, tetapi bukti kuat untuk spekulasi ini belum ditunjukkan dan beberapa orang akan berpendapat bahwa posisi pertama kaki lebih aman dari sudut pandang penahan kecelakaan. Bagaimanapun, konsekuensi dari akselerasi jangka pendek saat lepas landas mungkin sepele dibandingkan dengan durasi yang lebih lama dari posisi '*nose up*' atau '*nose down*' dari pesawat selama pendakian atau penurunan dan pendekatan ke darat. Sikap ini akan bervariasi dengan jenis pesawat. Karena biasanya tidak praktis untuk mengubah orientasi pasien dalam penerbangan, atau kemiringan tandu pesawat, pertimbangan yang

cermat harus diberikan pada pilihan posisi 'kepala ke depan atau kaki ke depan' tetapi bukti kuat untuk spekulasi ini belum ditunjukkan dan beberapa orang akan berargumen bahwa posisi pertama kaki lebih aman dari sudut pandang pengendalian kecelakaan.

Bagaimanapun, konsekuensi dari akselerasi jangka pendek saat lepas landas mungkin sepele dibandingkan dengan durasi yang lebih lama dari posisi '*nose up*' atau '*nose down*' dari pesawat selama pendakian atau penurunan dan pendekatan ke darat. Sikap ini akan bervariasi dengan jenis pesawat. Karena biasanya tidak praktis untuk mengubah orientasi pasien dalam penerbangan, atau kemiringan tandu pesawat, pertimbangan yang cermat harus diberikan pada pilihan posisi 'kepala ke depan atau kaki ke depan' tetapi bukti kuat untuk spekulasi ini belum ditunjukkan dan beberapa orang akan berargumen bahwa posisi pertama kaki lebih aman dari sudut pandang pengendalian kecelakaan. Bagaimanapun, konsekuensi dari akselerasi jangka pendek saat lepas landas mungkin sepele dibandingkan dengan durasi yang lebih lama dari posisi '*nose up*' atau '*nose down*' dari pesawat selama pendakian atau penurunan dan pendekatan ke darat. Sikap ini akan bervariasi dengan jenis pesawat.

Karena biasanya tidak praktis untuk mengubah orientasi pasien dalam penerbangan, atau kemiringan tandu pesawat, pertimbangan yang cermat harus diberikan pada pilihan posisi 'kepala ke depan atau kaki ke depan'. konsekuensi dari akselerasi jangka pendek saat lepas landas mungkin tidak berarti dibandingkan dengan durasi yang lebih lama dari posisi '*nose up*' atau '*nose down*' pesawat selama pendakian atau penurunan dan pendekatan ke darat. Sikap ini akan bervariasi dengan jenis pesawat. Karena biasanya tidak praktis untuk mengubah orientasi pasien dalam penerbangan, atau kemiringan tandu pesawat, pertimbangan yang cermat harus diberikan pada pilihan posisi 'kepala ke depan atau kaki ke depan'. konsekuensi dari akselerasi jangka pendek saat lepas landas mungkin tidak berarti dibandingkan dengan durasi yang lebih lama dari posisi '*nose up*' atau '*nose down*' pesawat selama pendakian atau penurunan dan pendekatan ke darat. Sikap ini akan bervariasi dengan jenis pesawat. Karena biasanya tidak praktis untuk mengubah orientasi pasien dalam penerbangan, atau kemiringan tandu pesawat, pertimbangan yang cermat harus diberikan pada pilihan posisi 'kepala ke depan atau kaki ke depan'.

Buffeting adalah urutan percepatan linier tidak beraturan yang beroperasi di sumbu panjang penghuni yang duduk. Hal ini sering dialami ketika terbang dengan kecepatan tinggi dalam kondisi turbulen, terutama melalui atau di bawah awan badai, tetapi bisa sama buruknya di tingkat rendah, di iklim panas dan saat terbang di atas pegunungan. Percepatan vertikal bolak-balik yang cepat ini dapat mencapai kekuatan hingga 3 G dan akan menyebabkan kelelahan bagi semua orang dan kecemasan bagi mereka yang takut terbang. Prasmanan mungkin cukup untuk melemparkan penghuni yang tidak aman ke dinding kabin atau perabotan, dan cedera dapat terjadi.

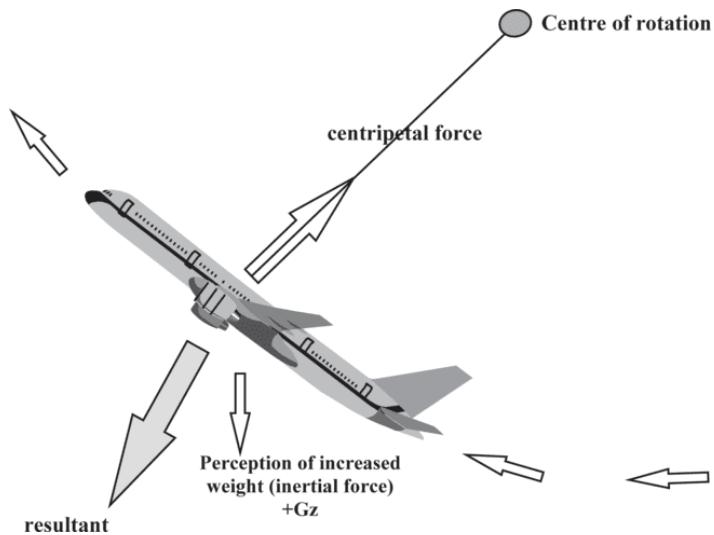
Clear air turbulence (CAT) sulit diprediksi. Itu terjadi di atas 30.000 kaki (9100 m), seperti namanya, langit cerah, tanpa peringatan awan yang biasanya pada ketinggian yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh vortisitas pada batas aliran jet. Ini adalah angin yang bergerak mengelilingi Bumi di troposfer atas dan stratosfer bawah dengan kecepatan lebih dari 100 mil per jam (161 kph). CAT telah cukup parah untuk menyebabkan kegagalan struktural pesawat, dan sangat penting bahwa kru dan pasien sama-sama ditahan dengan kuat di kursi atau tandu mereka. Setiap upaya harus dilakukan untuk meyakinkan pasien selama pengalaman ini, yang menurut sebagian orang paling menakutkan.

2. Percepatan radial

Perubahan arah gerak pesawat akan menghasilkan percepatan radial, efektif karena rotasi pada titik yang jauh (Gambar 4). Gaya bekerja keluar dari pusat jalur melingkar tetapi dianggap sebagai peningkatan berat oleh penumpang (yaitu, sebagai percepatan yang memaksa tubuh ke kursi atau ke lantai pesawat). Perasaan 'berat' saat pesawat berbelok tajam ini sudah tidak asing lagi bagi sebagian besar pelancong. Percepatan diukur dalam satuan G (kelipatan g, percepatan gravitasi) yang, menurut konvensi, diberi label G_z ketika gaya bekerja pada sumbu panjang benda yang duduk, G_x ketika gaya bekerja secara anteroposterior melintasi benda, atau G_y ketika bekerja secara lateral di seluruh tubuh. Akselerasi positif dengan kepala diarahkan ke pusat rotasi ($+G_z$) adalah gaya yang paling sering dialami. Meskipun beberapa pesawat militer mampu menahan percepatan $+12G_z$, penumpang dan awak pesawat angkut tidak mungkin mengalami lebih dari $+2G_z$, kecuali dalam keadaan darurat (misalnya jika pilot diharuskan mengambil tindakan manuver mendesak untuk menghindari tabrakan).

Gambar 4. percepatan radial

Pada tingkat akselerasi yang rendah ini, efek hidrostatik dari G positif minimal dan tidak mungkin menjadi penyebab serius yang perlu



dikhawatirkan. Setiap pasien dengan gangguan sirkulasi mungkin sudah berbaring terlentang di atas tandu (dengan akselerasi sekarang bekerja melintasi sumbu anteroposterior tubuh).

Jika $+G_z$ dipertahankan, tekanan hidrostatik dalam pembuluh darah di bawah jantung meningkat dan aliran balik vena terganggu. Dengan Hukum Starling, penurunan curah jantung akan mengikuti, mengatur respons fisiologis yang menyerupai yang terlihat pada keadaan hipovolemik. Takikardia refleks dan vasokonstriksi selektif terjadi secara upaya untuk mempertahankan tekanan darah yang memadai.

Awak medis harus menyadari bahwa efek pada berat ini dialami oleh semua yang ada di pesawat, bukan hanya penumpangnya. Akibatnya bobot traksi, dan monitor atau kotak peralatan yang diletakkan di atas pasien, akan menjadi lebih berat saat pesawat bermanuver. Rak yang terkunci di atas pasien harus diamankan dengan kuat; tidak diketahui bahwa mereka menjadi terlepas dan jatuh ke pasien selama manuver pesawat tiba-tiba. Selain itu, manuver berfluktuasi yang berulang membuat stres, melelahkan, dan cenderung meningkatkan risiko mabuk perjalanan.



Dari beberapa pengertian biodinamika penerbangan diatas, silakan jelaskan pengertian biodinamika penerbangan dengan menggunakan bahasa Bapak Ibu sendiri!

Biodinamika penerbangan adalah disiplin ilmu yang mempelajari pengaruh dasar-dasar mekanik terhadap tubuh manusia, yang terbagi menjadi dua radial dan linear.

Anda telah menyelesaikan kegiatan belajar 3. Bagaimana dengan materinya? Menarik bukan? Yuk istirahat sejenak untuk memulihkan konsentrasi!



Sekarang Saya Tahu

1. Pengertian Biodinamika penerbangan
2. Jenis-jenis percepatan Biodinamika penerbangan
3. Efek percepatan terhadap respon fisiologis manusia
4. Konsep percepatan linear
5. Konsep percepatan radial

BAB 4

FISIOLOGI & EFEK KETINGGIAN



BAB 4

FISIOLOGI & EFEK KETINGGIAN

A. Pendahuluan

Ketinggian umumnya dianggap sebagai ketinggian ketika lebih tinggi dari 1500 m di atas permukaan laut. Tekanan barometrik turun seiring dengan meningkatnya ketinggian (ketinggian vertikal di atas permukaan laut). Konsentrasi oksigen di udara tetap konstan sehingga ketika tekanan barometrik menurun, tekanan parsial oksigen menurun secara proporsional. Kondisi ini disebut dengan hipoksia hipobarik (Savioli et al., 2022).

Respon perubahan fisiologi (kadar oksigen dalam tubuh) akibat dari perubahan ketinggian yang terjadi dalam jangka pendek disebut hipoksia hipobarik akut. Hipoksia menginduksi neurohumeral dan respon hemodinamik menyebabkan vasodilatasi, hiperemia, dan perubahan mikrosirkulasi, meningkatkan tekanan hidrostatik kapiler, mengakibatkan kebocoran kapiler dan edema serebral (Brown and Grocott, 2013). Pemahaman akan tanda dan gejala hipoksia hipobarik dapat meningkatkan kewaspadaan dalam mengantisipasi terjadinya keparahan akibat hipoksia hipobarik.

B. Indikator Hasil belajar

1. Memahami fisiologi pernapasan normal
2. Memahami terjadinya hipoksia dalam penerbangan
3. Memahami terjadinya ekspansi gas dalam penerbangan
4. Memahami tekanan kabin dalam penerbangan
5. Melakukan antisipasi penanganan terhadap terjadinya perubahan fisiologi penerbangan

C. Sub Materi Pokok

1. Fisiologi pernapasan normal
2. Hipoksia dalam penerbangan
3. Ekspansi gas dalam penerbangan
4. Tekanan kabin dalam penerbangan

Uraian Sub Materi Pokok 4

Bapak ibu, setelah mempelajari fisiologi dan efek ketinggian. Menurut Bapak Ibu apakah fisiologi dan efek ketinggian sulit? Tidak sulit Bapak ibu! Yuk pelajari materi dibawah ini!

1. Efek penting dari ketinggian

Saat mendaki melalui atmosfer, meskipun komposisi udara tetap konstan, tekanan dan densitasnya menurun. Secara efektif ini berarti bahwa lebih sedikit molekul oksigen yang tersedia untuk penggunaan fisiologis. Lebih dari 90 persen oksigen yang digunakan oleh tubuh diperlukan untuk produksi adenosin trifosfat (ATP) yang kaya energi. Oksidasi karbohidrat dalam jalur glikolitik dan siklus asam karboksilat (Kreb) menghasilkan 38 molekul ATP per molekul glukosa. Molekul lain (lemak dan protein) dioksidasi dalam jalur terkait. Tanpa oksigen, ATP diproduksi oleh katabolisme anaerobik dengan produksi asam laktat berikutnya. Ini adalah proses yang tidak efisien yang menghasilkan hanya dua molekul ATP per molekul glukosa. Selain itu, akumulasi asam laktat di sebagian besar jaringan membatasi aktivitas seluler.

Di atas 10.000 kaki (3005 m), tanpa aklimatisasi, kekurangan oksigen menjadi masalah. Kekurangan oksigen ini disebut hipoksia hipobarik. Pada saat yang sama, gas yang terperangkap di dalam rongga tubuh akan mengembang. Efek peningkatan volume menyebabkan stres pada jaringan biologis. Penumpang dan kru normal mungkin merasa tidak nyaman, tetapi komplikasi serius jarang terjadi. Pasien dengan cedera jaringan, atau gas di lokasi ektopik atau dalam jumlah berlebihan, dapat menderita komplikasi yang menyakitkan dan bahkan mengancam jiwa kecuali tindakan diambil untuk meminimalkan atau mengurangi perubahan volume.

Penumpang dan kru normal mungkin merasa tidak nyaman, tetapi komplikasi serius jarang terjadi. Pasien dengan cedera jaringan, atau gas di lokasi ektopik atau dalam jumlah berlebihan, dapat menderita komplikasi yang menyakitkan dan bahkan mengancam jiwa kecuali tindakan diambil untuk meminimalkan atau mengurangi perubahan volume. Penumpang dan kru normal mungkin merasa tidak nyaman, tetapi komplikasi serius jarang terjadi.

Pasien dengan cedera jaringan, atau gas di lokasi ektopik atau dalam jumlah berlebihan, dapat menderita komplikasi yang menyakitkan dan bahkan mengancam jiwa kecuali tindakan diambil untuk meminimalkan atau mengurangi perubahan volume.

Akhirnya, untuk kelengkapan, penyakit dekompreksi penerbang (DCI) harus disebutkan meskipun sangat jarang di bawah 25.000 kaki (7620 m). Seperti penyakit caisson pada penyelam, gambaran klinis diperkirakan disebabkan oleh pembentukan gelembung gas nitrogen yang bersarang dan menyebabkan gejala baik pada sendi (bengkokan), paru-paru (tersedak), kulit (merinding) atau di sumsum tulang belakang atau bagian lain dari sistem saraf pusat (yang terhuyung-huyung). DCI sangat tidak mungkin dialami selama transportasi aeromedis kecuali pesawat mengalami keadaan darurat dekompreksi cepat di atas 25.000 kaki (7620 m) atau nitrogen ekstra telah dimuat ke dalam jaringan seperti yang akan terjadi dengan penyelaman udara terkompresi (SCUBA) baru-baru ini.

2. Fisiologi pernapasan normal

a. Udara alveolus

Gas alveolus adalah udara yang jenuh dengan air pada suhu tubuh dan mengandung karbon dioksida(CO₂). Karena CO₂ larut dan mudah berdifusi, tekanan parsial CO₂ dalam darah yang meninggalkan kapiler paru secara efektif berada dalam keseimbangan dengan tekanan gas alveolar.

Ventilasi paru (kedalaman dan laju pernapasan) diatur secara otomatis untuk mengimbangi produksi CO₂ dan dalam keadaan normal tekanan parsial alveolar CO₂ (PACO₂) konstan pada sekitar 5,3 kPa (40 mmHg). Sebaliknya, karena ketidaksetaraan ventilasi/perfusi fisiologis normal, tekanan parsial oksigen arteri sedikit lebih rendah daripada gas alveolar. Tekanan parsial komponen campuran gas alveolus di permukaan laut adalah:

Tabel 5. Tekanan parsial komponen campuran gas alveolus di permukaan laut

Nitrogen	76.0	kPa	570	mmHg
Oksigen	13.7	kPa	103	mmHg
Karbon dioksida	5.3	kPa	40	mmHg
Air	6.3	kPa	47	mmHg
Total (tekanan sekitar)	101.3	kPa	760	mmHg

Tekanan ambien total pada 8000 kaki (ketinggian ekivalen maksimum dalam pesawat bertekanan) adalah 75,3 kPa (565 mmHg) dan oleh karena itu tekanan parsial oksigen di udara kering akan menjadi 21 persen dari 75,3, yaitu 15,8 kPa (119 mmHg). Namun, di dalam alveoli, tekanan parsial adalah:

Tabel 6. Tekanan parsial komponen campuran gas di dalam alveolus

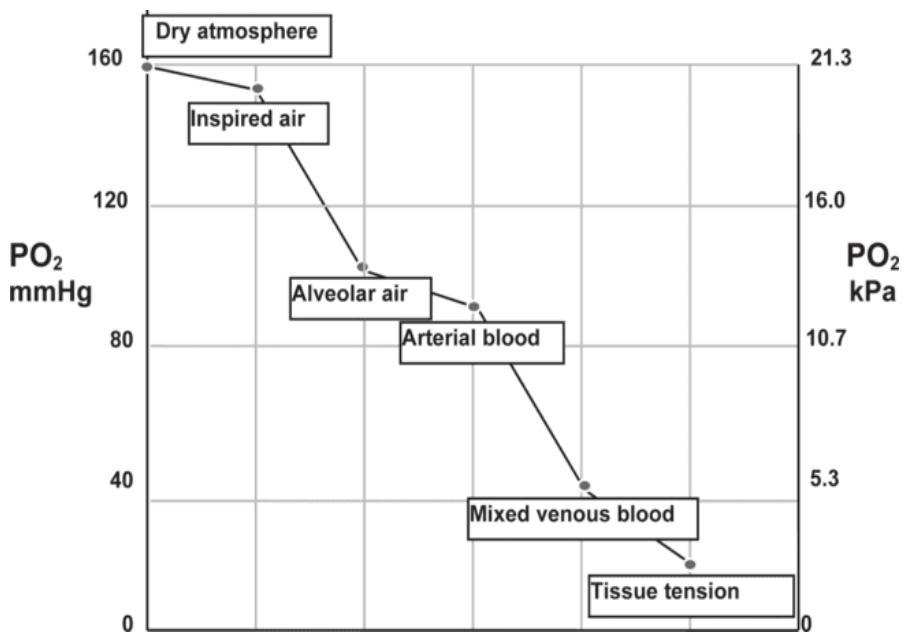
Nitrogen	55.4	kPa	416	mmHg
Oksigen	8.7	kPa	65	mmHg
Karbon dioksida	4.9	kPa	37	mmHg
Air	6.3	kPa	47	mmHg
Total (tekanan sekitar)	75.3	kPa	565	mmHg

Karena gas alveolus sepenuhnya jenuh, tekanan uap air tetap konstan 6,3 kPa (47 mmHg) pada suhu tubuh di semua ketinggian. Tekanan parsial CO₂, bagaimanapun, berkurang karena dorongan hipoksia untuk meningkatkan ventilasi paru, yang secara efektif membersihkan CO₂ dari paru-paru. Kebingungan sering muncul mengenai perbedaan antara tekanan parsial alveolar dan arteri (juga disebut ketegangan).

b. Pengangkutan oksigen

Meskipun beberapa oksigen dilarutkan dalam plasma, sebagian besar dibawa dalam kombinasi dengan hemoglobin (Hb) dalam eritrosit. Jumlah maksimum oksigen yang dapat digabungkan dengan 1 g Hb adalah 1,39 ml. Dengan asumsi 15 g Hb per 100 ml darah, kapasitas pembawa oksigen adalah: $1,39 \times 15 = 20,8 \text{ ml}/100 \text{ ml darah}$.

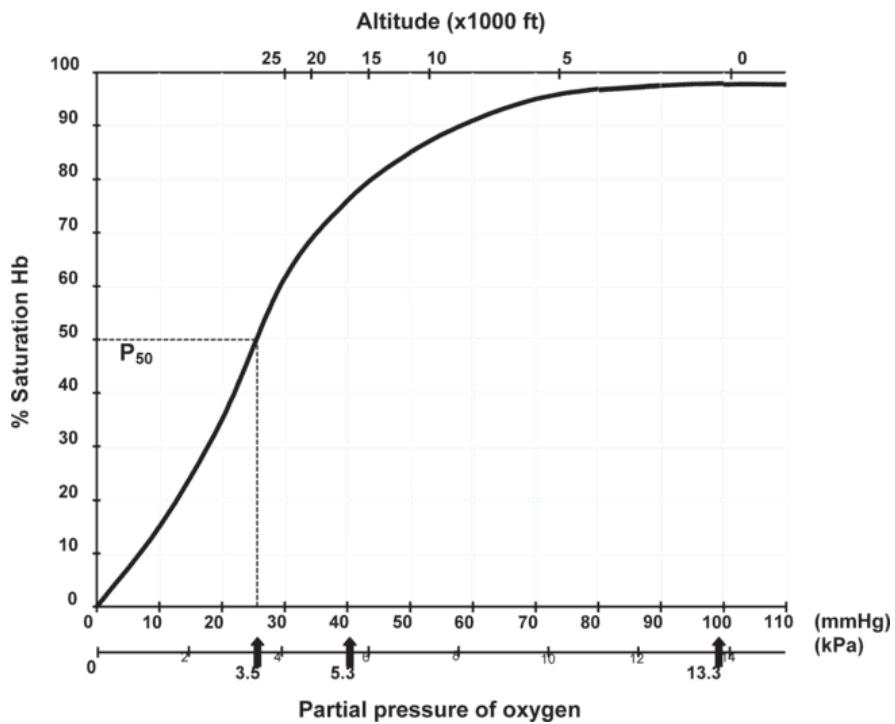
Rasio jumlah oksigen yang sebenarnya dikombinasikan dengan Hb dan daya dukung oksigen disebut saturasi oksigen Hb, di mana: saturasi oksigen = Jumlah oksigen yang dikombinasikan dengan Hb × 100% kapasitas pengangkutan oksigen.



Gambar 5. Gradien tekanan parsial oksigen dari atmosfer kering ke tingkat tekanan minimum

Hubungan antara saturasi oksigen dan tekanan oksigen (tekanan parsial oksigen dalam darah) digambarkan oleh kurva disosiasi oksigen berbentuk sigmoid (Gambar 6). Bentuk karakteristik ini sangat penting. Bagian atas yang datar memastikan bahwa variasi moderat dari tekanan oksigen alveolar di sekitar norma 13,7 kPa (103 mmHg) di permukaan laut, dan khususnya hipoksia derajat kecil, memiliki sedikit pengaruh pada jumlah oksigen yang dikombinasikan dengan Hb dalam darah arteri (yaitu, saturasinya). Bagian yang curam pada tekanan oksigen yang lebih rendah memastikan disosiasi (pengiriman) oksigen yang optimal dari Hb ke dalam jaringan. Penurunan saturasi yang besar (karena sejumlah besar oksigen diberikan ke jaringan) hanya menghasilkan sedikit penurunan tegangan. Hal ini penting dalam menjaga tekanan oksigen pada tingkat yang sesuai untuk fungsi jaringan normal.

Bentuknya tidak dipengaruhi oleh konsentrasi Hb, tetapi posisi kurva dapat bergeser ke kiri atau ke kanan oleh gangguan keasaman (pH), tekanan CO₂ arteri (PaCO₂), dan suhu. Jaringan yang bekerja keras akan menghasilkan ion hidrogen, CO₂ dan panas. Oleh karena itu, penurunan pH, dan/atau kenaikan PaCO₂, dan suhu akan menggeser kurva ke kanan dan dengan demikian meningkatkan jumlah oksigen yang dilepaskan oleh darah pada tekanan oksigen tertentu. Efek bersihnya adalah peningkatan pengiriman oksigen ke jaringan.



Gambar 6. Kurva disosiasi oksigen pada 37°C dan pH 7,4

1. Hipoksia

Hipoksia adalah kekurangan oksigen dalam jaringan tubuh yang cukup untuk menyebabkan gangguan fungsi fisiologis. Jenis hipoksia yang paling relevan dalam lingkungan penerbangan adalah hipoksia hipobarik (hipoksia) yang mungkin terlihat pada individu normal di atas ketinggian 10.000 kaki (3050 m), dalam apa yang disebut zona defisiensi fisiologis. Tanpa oksigen tambahan, saturasi oksigen darah di permukaan laut sebesar 98 persen akan menurun menjadi sekitar 90 persen pada 10.000 kaki (3050 m) dan 65 persen pada 20.000 kaki (6100 m). Meskipun hipoksia hipoksia disebabkan oleh tekanan parsial oksigen yang tidak memadai di udara inspirasi (dan pertukaran gas yang tidak memadai pada membran kapiler-alveolar), hipoksia juga dialami oleh mereka yang memiliki defek ventilasi/perfusi, atau dengan obstruksi jalan napas. Karena pasien ini hipoksia di permukaan laut.

Bentuk lain dari hipoksia juga akan memperburuk komplikasi hipoksia hipobarik. Hipoksia hipoksia (anemia) disebabkan oleh penurunan kapasitas pembawa oksigen darah. Ini mungkin karena anemia, hipovolemia, keracunan karbon monoksida, merokok berat, atau methemaglobinemia bawaan atau obat yang diinduksi. Hipoksia statis (sirkulasi) adalah defisiensi oksigen karena penurunan perfusi jaringan, seperti yang terjadi ketika curah jantung gagal

memenuhi kebutuhan jaringan. (syok kardiogenik), setelah pernapasan tekanan positif dalam waktu lama, atau dari pengumpulan vena, spasme arteri, atau oklusi pembuluh darah. Hipoksia histotoksik adalah ketidakmampuan jaringan tubuh untuk memanfaatkan oksigen yang tersedia, misalnya dengan keracunan sianida yang melepaskan fosforilasi oksidatif.

D. Tanda dan gejala hipoksia

Ada variasi yang cukup besar dalam efek hipoksia antar individu; kecepatan dan urutan munculnya tanda dan gejala, dan tingkat keparahannya, tergantung pada intensitas stimulus hipoksia. Faktor terpenting yang menentukan intensitas ini adalah ketinggian tempat individu terpapar, tingkat pendakian, dan waktu di ketinggian itu. Selain itu, suhu lingkungan yang ekstrem dan aktivitas fisik individu dapat membuat tuntutan akan oksigen yang tersedia, seperti halnya sejumlah faktor pribadi lainnya.

Di atas dan di atas kondisi patologis (bahkan infeksi ringan), ada banyak pengaruh pada toleransi individu terhadap hipoksia. Ini termasuk kebugaran pribadi, aklimatisasi sebelumnya, tingkat metabolisme, diet, nutrisi, emosi, kelelahan, beberapa obat, dan alkohol. Transportasi di kabin bertekanan akan mengurangi potensi komplikasi hipoksia tetapi kru medis harus waspada terhadap kondisi medis predisposisi yang dapat memperburuk hipoksia di ketinggian. Kondisi yang sudah ada sebelumnya ini termasuk yang mengganggu pertukaran gas, atau pengangkutan, pengiriman, atau permintaan oksigen. Selain itu, pertimbangan harus diberikan pada efek hipoksia hipobarik ringan di kabin bertekanan pesawat terbang di ketinggian terhadap 'organ berisiko' seperti miokardium iskemik, luka kaki bagian bawah yang tidak sembuh-sembuh, atau jaringan otak setelah cedera serebrovaskular. kecelakaan (CVA). atau permintaan. Selain itu, pertimbangan harus diberikan pada efek hipoksia hipobarik ringan di kabin bertekanan pesawat terbang di ketinggian terhadap 'organ berisiko' seperti miokardium iskemik, luka kaki bagian bawah yang tidak sembuh-sembuh, atau jaringan otak setelah cedera serebrovaskular. kecelakaan (CVA). atau permintaan. Selain itu, pertimbangan harus diberikan pada efek hipoksia hipobarik ringan di kabin bertekanan pesawat terbang di ketinggian terhadap 'organ berisiko' seperti miokardium iskemik, luka kaki bagian bawah yang tidak sembuh-sembuh, atau jaringan otak setelah cedera serebrovaskular. kecelakaan (CVA).

Dalam skenario transportasi aeromedis, hipoksia hipobarik yang signifikan tidak boleh terjadi pada orang yang sehat karena ketinggian kabin biasanya akan dipertahankan di bawah 10.000 kaki (3050 m). Memang ketinggian kabin di pesawat penumpang komersial tidak boleh melebihi 8000 ft (2440 m). Namun depresurisasi kabin dapat terjadi, dan semua orang yang terlibat dalam perawatan dalam penerbangan harus dapat mengenali gejala dan tanda hipoksia, yang cenderung berbahaya pada permulaan. Tanda dan gejala ini pada individu yang sehat dapat diprediksi dari pengetahuan tentang sensitivitas jaringan yang berbeda terhadap penurunan tekanan oksigen:

1) Sistem syaraf pusat

Neuron sangat sensitif terhadap kekurangan oksigen, terutama di area otak yang lebih tinggi (yang bertanggung jawab untuk penilaian, kritik diri, konsentrasi, dan tugas mental). Tanda-tanda hipoksia serebral dapat dimulai ketika PO₂ alveolus turun menjadi 6,7-8 kPa (50-60 mmHg). Aliran darah otak dipengaruhi oleh tekanan parsial oksigen dan karbon dioksida. Hiperventilasi (respon normal terhadap hipoksia) akan menginduksi hipokapnia yang cukup untuk menyebabkan vasokonstriksi serebral dan penurunan perfusi. Pergeseran pH dari 7,4 menjadi 7,1 akan mengurangi aliran darah otak hingga setengahnya. Ketika PO₂ arteri turun menjadi 6 kPa (45 mmHg), vasokonstriksi yang didorong oleh hipoksia juga terjadi.

Di bawah 6 kPa terjadi kebalikannya, dan peningkatan aliran darah serebral terjadi akibat efek vasodilatasi dari upaya hipoksia ekstrimuntuk mengimbangi vasokonstriksi yang disebabkan oleh respon hiperventilasi (hipokapnia).

Tanda dan gejala sistem saraf pusat (SSP) awal mungkin tidak dikenali. Tanda-tanda awal termasuk kehilangan perhatian, keterampilan penalaran dan penilaian, rasa terlepas dan penurunan bidang visual dan penglihatan warna. Perasaan hangat umum terjadi seperti parestesia pada tangan, kaki atau bibir akibat alkalosis respiratorik yang tak terelakkan. Kemampuan untuk melakukan tugas motorik halus juga terganggu. Kebingungan mental yang progresif, input sensorik yang berkurang, dan ketidaksadaran akan terjadi jika paparan hipoksia tetap tidak diobati. PO₂ arteri di mana ketidaksadaran terjadi bervariasi antara 2,7 dan 4,7 kPa (20 dan 35 mmHg), tergantung pada perfusi serebral

(yaitu, pada keseimbangan hiperkapnia dan hipoksia). Kematian neuron dimulai ketika PO₂ jaringan mencapai 2 kPa (15 mmHg). Tingkat kerusakan otak pada individu.

2) Sistem pernapasan

Pada ketinggian sekitar 5000 kaki (1524 m), respons pernapasan awal terhadap hipoksia adalah peningkatan kecepatan dan kedalaman pernapasan. Respon maksimum terjadi pada 22.000 kaki (6710 m) ketika volume menit (MV) akan hampir dua kali lipat. Sebagian besar peningkatan ini merupakan akibat sekunder dari perubahan volume tidal daripada laju pernapasan dan, pada dasarnya, merupakan keseimbangan antara peningkatan MV yang disebabkan oleh respons kemoreseptor terhadap hipoksia dan penurunan MV yang disebabkan oleh penghambatan pusat pernapasan. Meskipun peningkatan MV secara keseluruhan akan meningkatkan kebutuhan oksigen dan menyebabkan produksi CO₂ berlebih, hiperventilasi akan menghasilkan pengurangan kasar dari tekanan parsial karbon dioksida. Hal ini, pada gilirannya, menyebabkan alkalosis respiratorik dan pergeseran kurva disosiasi oksigen ke kiri, meningkatkan afinitas hemoglobin terhadap oksigen.

Hipoksia yang cukup signifikan untuk menurunkan saturasi di bawah 80 persen akan menyebabkan vasokonstriksi pembuluh darah paru, mengakibatkan peningkatan tekanan arteri pulmonal dan peningkatan beban kerja di sisi kanan jantung. Asidosis juga merupakan vasokonstriktor vaskular paru yang poten. Oksigen tambahan dapat meredakan hipoksia, tetapi secara bersamaan dapat menurunkan ventilasi alveolar, sehingga meningkatkan asidosis dan memperburuk vasokonstriksi paru.

3) Sistem kardiovaskular

Sistem kardiovaskular relatif tahan terhadap hipoksia dibandingkan dengan sistem pernapasan dan saraf pusat. Denyut jantung akan meningkat di ketinggian, meningkat hingga 15 persen lebih besar dari nilai permukaan laut pada 15.000 kaki (4.570 m), dan kira-kira akan berlipat ganda pada 25.000 kaki (7620 m). Meskipun volume sekuncup (SV) tetap tidak berubah, curah jantung (SV × denyut jantung) akan meningkat.

Vasodilatasi terjadi di sebagian besar area, mengakibatkan penurunan resistensi perifer. Refleks fisiologis akan mempertahankan atau meningkatkan tekanan sistolik, dan karena itu tekanan nadi akan melebar. Tekanan arteri rata-rata tetap konstan. Ketika efek ini berlanjut, peningkatan aktivitas jantung akan menuntut lebih banyak oksigen dan, jika kebutuhan ini tidak terpenuhi, miokardium yang sudah hipoksia akan merespons dengan penurunan denyut jantung, kegagalan kontraktilitas (penurunan SV) dan disritmia.

a. Tahap fisiologis hipoksia

Hingga 10.000 kaki (3050 m) Kadang-kadang disebut tahap acuh tak acuh, biasanya saturasi oksigen akan berkisar antara 90-98 persen pada individu normal. Meskipun tidak akan ada kesadaran akan gejala dan tidak ada gangguan yang nyata, pada 5000 kaki (1520 m) pengurangan 10 persen dalam penglihatan malam dapat dideteksi dan kinerja pada tugas-tugas baru mungkin terganggu.

Pada ketinggian 10.000– 15 000 ft (3050 – 4550 m) Saturasi oksigen pada orang yang tidak berkompromi akan berada di antara 80-90 persen. Peningkatan laju pernapasan, detak jantung, dan tekanan darah sistolik membantu mengimbangi penurunan pengangkutan oksigen. Efek ini telah menyebabkan fase ini disebut tahap kompensasi. Individu normal mungkin tetap asimptomatis, tetapi banyak yang akan mulai mengalami mual, pusing, lesu, sakit kepala, kelelahan, dan ketakutan. Penilaian yang buruk, penurunan efisiensi, gangguan koordinasi, dan peningkatan iritabilitas dapat menjadi jelas setelah paparan 10 hingga 15 menit pada ketinggian 12.000 – 15.000 kaki (3660-4550 m).

Pada ketinggian 15.000– 20.000 kaki (4550 – 6100 m) Saturasi oksigen akan berada di antara 70- 80 persen. Mekanisme fisiologis tidak dapat lagi mengkompensasi kekurangan oksigen dan bahkan individu yang beristirahat menyadari gejala hipoksia. Ini kadang-kadang disebut tahap gangguan, di mana gejala subjektif dari kelaparan udara, sakit kepala, amnesia, penurunan tingkat kesadaran, dan mual lebih jelas. Indra berkurang dengan penurunan ketajaman visual karena kabur atau tunneling visi, dan hilangnya kejelasan warna. Mungkin ada kelemahan, mati rasa, kesemutan dan penurunan sensasi sentuhan dan nyeri. Waktu reaksi, memori jangka pendek, ucapan dan tulisan tangan mungkin sangat terganggu, dan mental yang melambat membuat perhitungan tidak dapat diandalkan. Perilaku mungkin tampak agresif,

agresif, euphoria, terlalu percaya diri atau murung, dan gangguan koordinasi otot membuat gerakan halus atau halus menjadi tidak mungkin. Meskipun terjadi peningkatan yang nyata pada frekuensi pernapasan, sianosis sentral dapat terlihat jelas dan spasme otot serta tetan dapat terjadi akibat hipokapnia. Setiap aktivitas fisik pada tahap ini akan sangat memperburuk tanda dan gejala, dan dapat dengan cepat menyebabkan ketidaksadaran.

Di atas 20.000 kaki (6100 m) Saturasi oksigen turun menjadi 60-70 persen pada tahap kritis ini. Gejala sebelumnya yang mungkin diabaikan tidak lagi dapat diabaikan karena fungsi mental yang lebih tinggi dan kontrol neuromuskular menurun dengan cepat. Selain fitur tahap gangguan, temuan objektif sekarang meningkat termasuk menyentak mioklonik ekstremitas atas, kejang tipe grand-mal, dan, sering dengan sedikit atau tanpa peringatan, ketidaksadaran. Jika hipoksia tidak segera dihilangkan, kerusakan otak yang ireversibel akan meningkat, dan kematian akan segera menyusul.

b. Pengobatan hipoksia

Dalam merencanakan misi aeromedis, pencegahan hipoksia harus selalu dianggap sebagai yang terpenting. Pemahaman menyeluruh tentang kondisi klinis pasien dan tuntutan yang diberikan kepadanya oleh penerbangan akan membantu kru medis untuk mengevaluasi kebutuhan oksigen dan tekanan selama perjalanan. Pengenalan tanda dan gejala adalah prioritas berikutnya. Kemampuan untuk memantau pasien secara memadai selama transportasi (misalnya, elektrokardiografi, oksimetri nadi, dan kapnografi pasang surut) mungkin penting. Personil aeromedis juga disarankan untuk memantau ketinggian kabin, atau setidaknya berkomunikasi dengan awak pesawat, agar perubahan drastis tidak luput dari perhatian.

Oksigen tambahan tetap menjadi kunci pengobatan. Jika, meskipun oksigen tambahan, bukti hipoksia tetap ada, pendamping aeromedis harus mempertimbangkan penipisan atau kerusakan sistem oksigen onboard, penurunan kondisi pasien, atau bahwa pasien tidak dapat mentolerir perubahan tekanan barometrik. Yang terakhir mungkin memerlukan penurunan pesawat, atau peningkatan tekanan kabin.

2. Ekspansi Gas

Ada beberapa organ dalam tubuh yang mengandung beberapa bentuk gas. Mereka dapat diisi dengan udara jenuh (di rongga telinga tengah dan

sinus paranasal), gas alveolar (udara jenuh yang diperkaya dengan karbon dioksida di paru-paru) atau campuran udara dan gas yang dihasilkan oleh proses pencernaan (di usus). Rongga-rongga ini berkomunikasi dengan atmosfer ambien dengan berbagai tingkat efisiensi dan gas yang terkandung di dalamnya mematuhi Hukum Boyle, yaitu, rongga-rongga tersebut mengembang seiring dengan penurunan tekanan ambien (Gambar 7 menunjukkan hubungan ideal untuk gas kering).

Namun, Hukum Boyle berkaitan dengan gas kering. Gas dalam rongga tubuh jenuh dengan uap air pada suhu tubuh yang memberikan tekanan uap konstan sebesar 6,3 kPa (47 mmHg). Efek bersihnya adalah semakin besar ketinggian, semakin besar besarnya ekspansi gas, seperti yang dijelaskan oleh persamaan Boyle yang dimodifikasi:

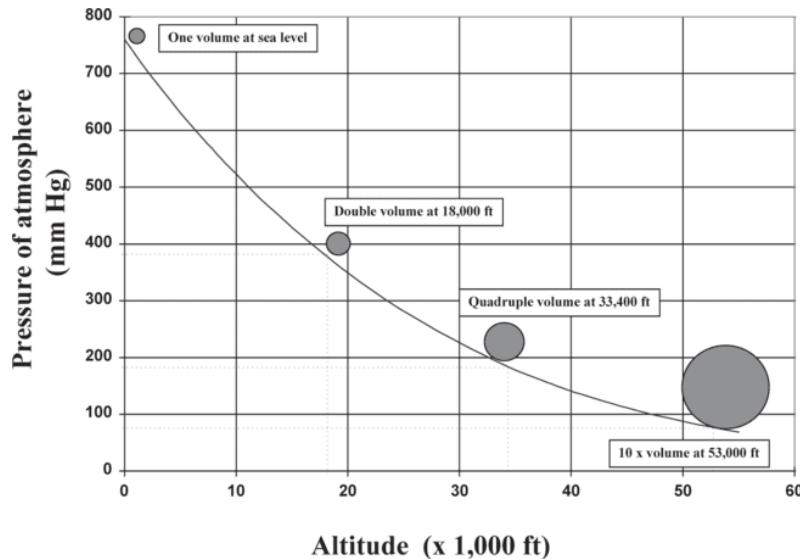
$$RGE = (P_i / P_f)^{1/2}$$

Keterangan:

RGE = ekspansi gas relatif

P_i = tekanan awal (mmHg) P_f = tekanan akhir (mmHg)

Jika ada komunikasi tak terbatas antara rongga berisi gas dan atmosfer luar, ekspansi tidak akan menyebabkan kesulitan atau ketidaknyamanan. Sebaliknya, jika peningkatan volume tidak dapat dibuang, peregangan dinding rongga menyebabkan peningkatan lokal tekanan internal yang mungkin sangat menyakitkan. Ini menjadi signifikansi baru ketika gas terletak di ektopik, seperti pada pasien pascaoperasi, atau pada mereka yang telah memasukkan gas atau udara setelah cedera atau sebagai bagian dari prosedur diagnostik. Awak medis juga harus mempertimbangkan efek ekspansi gas pada pasien dengan ileus atau distensi lambung, dan pada item peralatan medis.



Gambar 7. Hubungan antara volume gas dan tekanan pada ketinggian

3. Tekanan kabin

Kabin pesawat yang ideal mungkin diharapkan memiliki tekanan internal yang disetel ke satu atmosfer (101,3 kPa, 760 mm Hg), tetapi hukumannya (berat kabin, dan peralatan bertekanan, kebutuhan daya, dan risiko perbedaan tekanan yang besar di seluruh dinding kabin) tidak dapat diatasi. Tekanan kabin kompromi antara 6000 dan 8000 kaki memungkinkan penumpang menghirup udara dengan nyaman, dan dengan risiko minimal dekompreksi eksplosif karena kegagalan struktural.

Tekanan udara dimungkinkan dengan masuknya udara dari luar. Ini dikompresi oleh kompresor yang digerakkan mesin atau disadap di hulu ruang bakar jet. Kemudian dikirim ke kabin di mana tekanan dipertahankan dengan mengontrol aliran keluar dari pesawat. Pengiriman udara dikontrol secara otomatis sehingga perbedaan tekanan kabin biasanya tetap pada nilai konstan pada rentang ketinggian pesawat (kontrol diferensial). Sistem pengiriman udara juga memungkinkan pengaturan termal dan kontrol kelembaban.

E. Dekompreksi cepat

Dekompreksi cepat adalah kejadian yang tidak biasa di pesawat sipil, tetapi dapat terjadi jika dinding kabin dilanggar, atau dengan kerusakan sistem kontrol tekanan. Tekanan awalnya turun dengan cepat, dan kemudian

lebih lambat ketika tekanan internal seimbang dengan tekanan sekitar yang lebih rendah di luar. Tingkat dekompresi dipengaruhi oleh volume kabin, ukuran cacat, dan perbedaan antara tekanan kabin awal dan tekanan udara luar. Efek merugikan pada penumpang pesawat adalah:

1) Ledakan udara

Sampai tekanan udara seimbang, kecepatan aliran udara di sekitar cacat akan menjadi besar. Debu, puing-puing dan barang-barang lepas akan tersedot oleh aliran angin. Jika cacatnya cukup besar, atau perbedaan tekanannya besar, bahkan barang-barang besar dan orang-orang yang tidak diikat dengan aman ke kursi mereka dapat dipindahkan. Setelah keseimbangan terjadi, jika cacatnya besar, penumpang yang duduk di dekatnya dapat menderita luka bakar angin, seperti yang terlihat dalam insiden Aloha Boeing 727 pada tahun 1988.

2) Dingin

Suhu kabin akhirnya akan tergantung pada ukuran cacat, suhu udara luar, dan ketinggian dan kecepatan pesawat. Ekspansi udara yang cepat saat menyeimbangkan ke tekanan yang lebih rendah juga mengurangi suhunya.

3) Berkabut

Udara dingin menyimpan lebih sedikit uap air daripada udara hangat. Pendinginan tiba-tiba udara saat mengembang karena itu menyebabkan fogging saat uap air mengembun keluar dari massa udara pendingin. Kabut kondensasi ini hilang dengan cepat setelah keseimbangan tekanan tercapai.

4) Ekspansi gas

Jika dekompresi darurat terjadi saat glotis tertutup, paru-paru mungkin menderita barotrauma karena gas yang terperangkap mengembang dengan cepat. Hal ini dapat menyebabkan pneumotoraks sederhana atau tegang atau, lebih serius, embolisasi gas arteri.

5) Penyakit dekompresi (DCI) Insiden DCI tidak signifikan di bawah 30.000 kaki dan hampir tidak pernah terdengar di pesawat sipil. Namun, kejadiannya lebih mungkin terjadi pada penghuni yang sakit, baru saja terluka, atau yang kelebihan berat badan.

6) Hipoksia

Efek hipoksia cenderung cepat dalam onset dengan hipoksemia bencana yang terjadi dalam hitungan detik jika dekompreksi cepat menyeimbangkan di atas 30.000 kaki. Di atas ketinggian ini, PO₂ alveolar lebih rendah daripada PO₂ vena sehingga oksigen keluar dari darah ke paru-paru dan berakhir dengan setiap napas. Oleh karena itu, penting bagi kru, penumpang, dan pasien untuk mengakses pasokan oksigen darurat sesegera mungkin. Meskipun ketidaksadaran dapat terjadi dalam waktu setengah menit (Tabel 7), gangguan mental akan terjadi lebih cepat, dan tindakan beralasan yang masuk akal mungkin menjadi tidak mungkin.

Tabel 7. Waktu kesadaran yang berguna hingga 36.000 kaki (10 930 m)

Ketinggian (ft/m)	Waktu kesadaran yang berguna
25.000/7620	270
30.000/9100	145
36.000/10 930	71

7) Kebutuhan ketinggian kabin permukaan laut

Untuk pesawat terbang, terutama jet, untuk melakukan perjalanan di atau dekat permukaan laut, ada penalti besar dalam jangkauan, kenyamanan, pembakaran bahan bakar, dan kecepatan. Untuk mempertahankan tekanan kabin pada ketinggian yang setara dengan permukaan laut, pesawat mungkin harus terbang pada ketinggian 15.000 kaki, bukan pada ketinggian 35.000 kaki. Namun, ada kondisi medis tertentu di mana setiap depresurisasi dapat memiliki efek yang parah. Disebutkan telah dibuat dari kebutuhan FiO₂ tinggi di permukaan laut, dan pneumotoraks tidak cukup dikeringkan. Gas ektopik di rongga tengkorak atau mata tidak akan dapat mengembang dengan penurunan tekanan, dengan konsekuensi kompresi jaringan yang berdekatan. Akhirnya penyakit dekompreksi, kecuali sepenuhnya teratas, dapat kambuh di ketinggian. Nasihat dari spesialis kedokteran selam harus diperoleh jika ada keraguan tentang kebijaksanaan pemulangan melalui udara.



Dari materi konsep fisiologis dan efek ketinggian diatas, silakan jelaskan secara singkat perubahan fisiologis efek ketinggian dengan menggunakan bahasa Bapak Ibu sendiri!

Perubahan fisiologis (kebutuhan oksigen dalam tubuh) yang sering terjadi efek dari ketinggian adalah hipoksia hipobarik. Tekanan barometrik turun seiring dengan meningkatnya ketinggian (ketinggian vertikal di atas permukaan laut). Konsentrasi oksigen di udara tetap konstan sehingga ketika tekanan barometrik menurun

Anda telah menyelesaikan kegiatan belajar 4. Bagaimana dengan materinya? Menarik bukan? Yuk istirahat sejenak untuk memulihkan konsentrasi!



Sekarang Saya Tahu

1. Fisiologis pernapasan normal
2. Hipoksia dalam penerbangan
3. Tanda dan gelaja hipoksia
4. Ekspansi gas dalam penerbangan
5. Penanganan terhadap terjadinya perubahan fisiologis penerbangan

BAB 5

LINGKUNGAN PENERBANGAN DAN PENGARUHNYA PADA PROSES EVAKUASI MEDIS UDARA



BAB 5

LINGKUNGAN PENERBANGAN DAN PENGARUHNYA PADA PROSES EVAKUASI MEDIS UDARA.

A. Pendahuluan

Evakuasi Aeromedis merupakan pilihan terbaik untuk evakuasi yang cepat dan relatif aman menggunakan transportasi udara. Evakuasi aeromedis memiliki beberapa keterbatasan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan. Perubahan di dalam kabin terkait dengan variasi ketinggian tekanan, termasuk penurunan tekanan oksigen parsial, suhu dan tingkat kelembapan yang lebih rendah, tempat duduk yang sempit dan imobilisasi, kebisingan, turbulensi, dan perluasan udara di rongga tubuh (Ceyhan and Menekşe, 2021).

Area kerja di sebagian besar pesawat jauh lebih kecil dibandingkan di rumah sakit. Ketinggian kabin yang rendah mengurangi aliran gravitasi pada saluran infus. Keterbatasan dimensi membuat penanganan pasien menjadi lebih sulit terkait dengan *positioning* dan resusitasi (REKSOPRODIO et al., 2019). Kebisingan di dalam pesawat juga menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap penanganan pasien selama penerbangan terutama dalam komunikasi antar tim. Kondisi lingkungan penerbangan diatas berpengaruh terhadap proses evakuasi.

B. Indikator Hasil belajar

1. Memahami perubahan tekanan udara dalam lingkungan penerbangan
2. Memahami perubahan suhu udara dalam lingkungan penerbangan
3. Memahami gaya gravitasi pada saat lepas landas dan pendaratan
4. Memahami kelembaban udara selama dalam penerbangan
5. Memahami bising selama dalam penerbangan
6. Memahami vibrasi/ getaran dalam penerbangan
7. Memahami terjadinya turbulensi dalam penerbangan
8. Memahami ruang gerak terbatas dalam penerbangan
9. Memahami kurangnya penerangan dalam penerbangan
10. Melakukan antisipasi dan penanganan terhadap terjadinya perubahan lingkungan penerbangan alam melakukan evakuasi medis udara

C. Sub Materi Pokok

1. Tekanan udara dalam lingkungan penerbangan
 2. Suhu udara dalam lingkungan penerbangan
 3. Gaya gravitasi pada saat lepas landas dan pendaratan
 4. Kelembaban udara selama dalam penerbangan
 5. Bising selama dalam penerbangan
 6. Vibrasi/ getaran dalam penerbangan
 7. Turbulensi dalam penerbangan
 8. Ruang gerak terbatas dalam penerbangan
 9. Kurangnya penerangan dalam penerbangan
-

Uraian Sub Materi Pokok 5

Bapak ibu, setelah mempelajari lingkungan penerbangan dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia. Menurut Bapak Ibu apakah lingkungan penerbangan dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia sulit? Tidak sulit Bapak ibu! Yuk pelajari materi dibawah ini!

1. Lingkungan Penerbangan

Beberapa perubahan lingkungan yang terjadi pada saat penerbangan yang perlu diwaspadai adalah beberapa hal sebagai berikut:

- a. Tekanan udara.

Tekanan atmosfir dipengaruhi oleh ketinggian, semakin tinggi udara, tekanan atmosfir semakin kurang karena jumlah udara berkurang. Tekanan barometrik pada 18.000 kaki/5.500 meter adalah setengah dari tekanan di permukaan laut, yang dapat menghasilkan penggandaan volume gas, berdasarkan hukum Boyle (Thomson *et al.*, 2021).

Dekompresi adalah sekumpulan dampak akibat dari ketinggian yang mengakibatkan perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan terperangkapnya gas. Kondisi tersebut dalam terminologi medis disebut *aeroembolism*, *dysbarism*, "*the bends*" atau sakit pada persendian dan *aeropathy* (Brown and Antunano, 2020). Dekompresi sifatnya individual pada tiap-tiap orang. Dekompresi tidak segera terjadi pada saat seseorang terpapar ketinggian. Terjadinya dekompreksi membutuhkan beberapa menit dengan waktu maksimal 20-60 menit. (Evans *et al.*, 2017).

Kondisi medis yang mungkin muncul akibat dekompresi dapat menyebabkan terjadinya *trapped gas* dengan keluhan perut tidak nyaman dan sakit, *barotitis media (ear block)*, *barosinusitis*, *barodontalgia*, *pulmonary embolism*, *pneumothorax*, dan *pneumomediastinum* (Martin-Gill et al., 2018). Dekompresi bisa juga menyebabkan *chokes* (sakit pada dada bagian bawah, dyspneu, batuk kering), kulit gatal, nyeri, dan ruam-ruam merah, pada syaraf dapat menyebabkan gangguan mental (gangguan memori, gangguan mengambil keputusan, afasia), kelelahan, perubahan perilaku, kehilangan kesadaran, vertigo, mual, dan muntah (Tesón et al., 2013).

Dekompresi juga dapat menimbulkan masalah pada telinga tengah, seperti: nyeri telinga, pembengkakan, sakit tenggorokan, keluar CSF, fraktur dasar tengkorak, kelemahan menelan. Gejala yang ditimbulkan oleh tekanan barotrauma sebagai rasa berat di telinga, nyeri, nyeri tekan, pusing, mual, gangguan pendengaran dan epistaksis (Fouts et al., 2018). Untuk menghindari barotrauma dapat dilakukan *manuver valsava*, gerakan menelan atau pun mengunyah permen karet untuk menyamakan tekanan di dalam dan luar telinga selama penurunan ketinggian pesawat (Skinner and Rawal, 2020). Dalam kasus di mana manipulasi tidak memungkinkan dilakukan, dapat digunakan obat vasokonstriksi dalam bentuk aerosol selama 15 menit sebelum ketinggian pesawat turun. Jika gejala yang dirasakan sangat inten, ketinggian pesawat ditingkatkan untuk menyeimbangkan tekanan (Intas and Stergiannis, 2013).

Pada fraktur tengkorak wajah, emfisema subkutan dapat terjadi. Pada kasus patah tulang tengkorak, memungkinkan udara terperangkap di dalam tengkorak sehingga pesawat harus terbang di permukaan laut (Huh, 2013). Ketinggian maksimum yang dianjurkan yaitu 8.000 kaki, untuk memastikan keselamatan dan kesejahteraan awak kabin untuk menghindari barotrauma (Mcleod, 2014).

Pada ketinggian 9.000 kaki volume udara di saluran pencernaan meningkat 150%, ditandai perut kembung, gelisah, sesak napas. Pasien bedah daerah abdomen berisiko mengalami ruptur jahitan oleh sebab itu gas dalam saluran pencernaan harus dikeluarkan dengan memasang selang nasogastric, pakaian dilonggarkan, menghindari makanan yang mengandung gas 24 jam sebelum terbang (Intas and Stergiannis, 2013).

Setiap struktur atau perangkat yang berisi gas dapat terpengaruh terhadap perubahan tekanan udara. Pneumotoraks atau balon endotrakeal dapat mengembang atau berkontraksi tergantung pada perubahan tekanan/ketinggian. Balon endotrakeal mengembang melebihi 30 cmH₂O dan mengakibatkan cedera mukosa trachea sehingga diperlukan penyesuaian tekanan balon endotrakeal sebelum terbang, mengisi balon endotrakeal dengan saline ketika melakukan evakuasi medik udara pada pasien dengan intubasi, serta monitor secara teratur tekanan balon selama penerbangan (Thomson *et al.*, 2021).

b. Perubahan Suhu

Ketinggian juga mempengaruhi suhu, semakin tinggi suatu tempat maka suhu semakin rendah. Suhu menurun pada ketinggian berkisar 2°C (3,5°F) per 1.000 kaki. Suhu di dalam pesawat berkisar 22 hingga 24 derajat Celsius. Suhu terendah bisa mencapai 18 derajat dan tertinggi pada 27 derajat Celsius. Penumpang pesawat jarang bergerak selama penerbangan sehingga tubuh hanya sedikit menghasilkan panas dan mengakibatkan tubuh terasa dingin (Tesón *et al.*, 2013).

Suhu menurun ketika ketinggian meningkat. Peningkatan ketinggian pesawat pada 1000 kaki menyebabkan penurunan suhu 2°C. Perubahan suhu meningkatkan kebutuhan metabolisme pasien, terutama pada pasien trauma. Pasien dengan luka bakar dapat mengalami hipoksia dan hipotermia sehingga oksigen harus diberikan dan suhu tubuh harus dijaga dalam kondisi hangat dengan menggunakan selimut, pakaian hangat dan diberikan asupan cairan yang cukup (Intas and Stergiannis, 2013).

c. Hipoksia

Hipoksia dikenal sebagai kondisi yang sangat membahayakan selama penerbangan karena dapat mengakibatkan gagalnya pernafasan dan berkurangnya oksigen di paru-paru (Netzer *et al.*, 2013). Penurunan tekanan parsial oksigen pada ketinggian akan mengganggu transportasi oksigen fisiologis (Cheung, 2022).

Gejala awal hipoksia biasanya terjadi gangguan pada penglihatan (intensitas menerima cahaya berkurang, luas pandang menyempit), gangguan pada psikomotor (gangguan pergerakan mata dan tangan), dan

gangguan fungsi kognitif (gangguan memori) (Araiza et al., 2021). Lebih lanjut, gejala hipoksia bisa berkembang menjadi perubahan perilaku, kehilangan tilikan, kehilangan kemampuan mengambil keputusan, kehilangan kemampuan untuk kritis terhadap situasi, euphoria, gangguan ingatan, gangguan koordinasi pergerakan, gangguan sensori, hiperventilasi, sakit kepala, bingung, paraesthesia muka dan ekstremitas, pingsan, dan yang paling buruk adalah kematian (Evans et al., 2017).

d. Gaya gravitasi pada saat lepas landas dan pendaratan

Gerakan pesawat memiliki efek yang signifikan pada pasien khususnya pada pasien terlentang yaitu saat lepas landas atau pendaratan. Jika pasien memiliki kondisi yang kemungkinan akan terpengaruh oleh pergerakan pesawat (misalnya patah tulang), kru harus mendiskusikan hal tersebut dengan pilot untuk melihat apakah profil lepas landas atau pendaratan dapat diubah (Thomson et al., 2021).

Gaya akselerasi atau gaya G pesawat selama lepas landas dan mendarat dapat menghasilkan pengumpulan darah di ekstremitas bawah atau kepala, khususnya jika pasien diposisikan dengan kepala mengarah ke depan pesawat. Gaya G tersebut akan berpengaruh terutama pada pasien dengan hemodinamik tidak stabil, trauma kepala dan pasien perdarahan intracranial (Vijai et al., 2018).

Ada dua jenis percepatan, yaitu linier dan sudut. Percepatan linier menggerakkan cairan tubuh dan organ dalam ke arahnya, dan dapat menyebabkan peningkatan TIK, hipotensi atau takikardia tergantung lokasi pasien. Percepatan sudut dapat meningkatkan curah jantung, takikardia, vasokonstriksi, gangguan penglihatan dan perdarahan intraserebral. Satu-satunya solusi untuk masalah ini adalah mengatur posisi pasien dengan benar (Intas and Stergiannis, 2013).

e. Kelembaban udara

Kelembaban yang rendah di dalam kabin sebagai akibat dari suhu yang rendah (-43°C [-45°F] hingga -65°C [-85°F]) biasanya ditemukan pada ketinggian 10.660 m (35.000 kaki). Kelembaban di dalam kabin pesawat dilaporkan berkisar antara 5% hingga 25% (Cheung, 2022). Semakin tinggi ketinggian, udara akan semakin dingin dan semakin kering. Jika ketinggian terbang bertambah, maka kelembaban di kabin pesawat berkurang melalui

penguapan udara (Intas and Stergiannis, 2013). Pesawat memiliki kelembaban kabin yang rendah, berkisar antara 10-20%. Hal ini tidak dapat dihindari karena udara luar pada ketinggian praktis tidak memiliki kelembaban. Akibatnya, akan terjadi pengeringan pada mukosa hidung, mulut, tenggorokan, kornea dan kulit. Dehidrasi dapat dicegah jika penumpang mengkonsumsi asupan cairan yang cukup, membatasi alkohol dan kafein (Thibeault and Evans, 2015).

Penurunan kelembaban yang ada di pesawat juga menyebabkan pengeringan sekresi pernapasan yang menyebabkan atelektasis dan penyumbatan tabung trachea (Vijai et al., 2018). Masalah akan bertambah pada pasien yang membutuhkan oksigen tambahan karena oksigen adalah gas kering. Selaput lendir dapat menjadi kering, bradikardia dan hipotensi sehingga pelembab pada nebulisasi dan asupan cairan diperlukan, selanjutnya akan muncul sekret pucat, obstruksi trachea dan hipoksia (Thibeault and Evans, 2015). Pada pasien dengan pipa endotrakeal 2 ml saline harus diberikan pada trachea secara berkala. Hal lain yang harus dilakukan adalah meneteskan air mata buatan pada kornea untuk menjaga kelembaban, menutup luka bedah terbuka harus ditutup dengan pembalut steril basah (Intas and Stergiannis, 2013).

f. Bising

Sumber utama kebisingan pesawat terbang adalah mesin jet primer yang timbul terutama oleh bergeraknya bagian mesin pesawat seperti kipas angin, compressor dan suhu turbin. Kebisingan tersebut dapat merangsang sistem vestibuler dan otak yang menyebabkan kelelahan dan timbulnya cedera pada organ pendengaran. Untuk itu diperlukan penggunaan pelindung telinga dengan headphone atau helm kepada pasien dan kru (Thomson, 2021).

Evakuasi medis udara di lingkungan kebisingan tinggi terutama pada pesawat bersayap putar akan mengurangi kemampuan untuk mendengar suara paru-paru dan jantung di dalam pesawat, dengan demikian menghambat pemantauan pasien khususnya melalui auskultasi (Fontaine et al., 2014). Percakapan normal tidak mungkin dapat dilakukan, akan berpengaruh terhadap komunikasi tim medis selama melakukan perawatan dalam pesawat. *Headset* penguat suara/ pengurang kebisingan perlu dipertimbangkan penggunaannya untuk mempermudah komunikasi. Alarm untuk memantau kondisi pasien tidak dapat digunakan pada lingkungan

yang bising. Tim medis harus mengandalkan pengamatan visual langsung daripada isyarat pendengaran (Borne et al., 2012).

Kebisingan akan menimbulkan masalah dalam komunikasi dan menyebabkan penurunan pendengaran yang progresif, serta stres. Kebisingan juga akan meningkatkan fungsi adrenal dan denyut jantung yang akan menyebabkan vasokonstriksi perifer, hipertensi, meningkatkan aliran darah ke otak dan tekanan intrakranial. Intensitas kebisingan tidak boleh melebihi 90db. Tenaga kesehatan memiliki masalah dalam berkomunikasi antar tim termasuk dengan pasien, termasuk tidak dapat menilai pasien dengan benar karena mereka tidak dapat mendengar atau mengukur tekanan darah (Intas and Stergiannis, 2013).

g. Vibrasi/ getaran

Getaran pada pesawat bervariasi tergantung pada ketinggian dan kondisi cuaca (Tesón et al., 2013). Getaran terjadi terutama karena pengoperasian mesin, flap, roda pendarat dan lepas landas dan hambatan umum udara yang disebabkan oleh pergerakan pesawat. Getaran frekuensi rendah 8-10 Hz menyebabkan penurunan BP, bradikardia dan bradipnoia. Getaran sedang dengan frekuensi 11-12 Hz menyebabkan peningkatan denyut jantung, vasokonstriksi perifer, kelelahan, suhu abnormal, mual, nyeri perut dan dada. Getaran frekuensi tinggi lebih dari 12 Hz menyebabkan aritmia berbahaya, otot berkedut, nyeri dan pendarahan (Intas and Stergiannis, 2013). Getaran pada pesawat helicopter lebih besar dibandingkan pada pesawat bersayap, getaran yang berlangsung lama dapat menyebabkan mabuk udara, mual, sakit kepala dan muntah (Tesón et al., 2013).

Pasien harus diangkut dalam posisi yang nyaman, harus sering dirubah posisi serta harus ditempatkan jauh dari mesin dan dinding pesawat. Penyumbat telinga, obat penenang dan antiemetik dapat digunakan secara khusus pada pasien dengan HPC sebelum penerbangan (Intas and Stergiannis, 2013).Getaran akan berpengaruh pada peralatan medik yang sensitif terhadap getaran. Dalam hal ini monitor, pompa, dan perangkat perawatan pasien lainnya. Oleh sebab itu perangkat dan kabel yang terkait harus diperiksa secara teratur (Tesón et al., 2013). Kecelakaan dapat dihindari dengan menstabilkan peralatan (mesin, tabung oksigen, jas dan pakaian) dengan tali pengikat, dan pemasangan sabuk pengaman pada pasien serta monitoring terhadap pasien dan peralatan. Getaran mempersulit penilaian

pasien karena tekanan darah dan nadi tidak dapat diukur serta berisiko terlepasnya ventilator (Intas and Stergiannis, 2013).

h. Turbulensi

Turbulensi merupakan perubahan kecepatan aliran udara yang menyebabkan guncangan pada tubuh pesawat, baik kecil maupun besar. Turbulensi menimbulkan ketakutan dan kecemasan pada penumpang (Evans et al., 2017).

i. Ruang gerak terbatas.

Pada penerbangan banyak penumpang duduk di tempat yang relatif kecil dan sempit, hal ini selain kurang nyaman juga mengurangi kesempatan untuk bangun, meregangkan tubuh, dan berjalan di sekitar kabin. Duduk untuk waktu yang lama dapat ditoleransi untuk sebagian besar penumpang, tetapi untuk beberapa orang ada potensi menimbulkan edema perifer, kram, dan masalah peredaran darah. Imobilitas juga merupakan faktor risiko trombosis vena dalam (Wariani et al., 2020).

j. Kurangnya penerangan

Penerangan yang terbatas dalam pesawat sangat mengganggu penilaian fisik oleh tim transportasi medis udara (Thomson et al., 2021).



Dari materi perubahan lingkungan penerbangan diatas, silakan jelaskan secara singkat perubahan lingkungan penerbangan dengan menggunakan bahasa Bapak Ibu sendiri!

perubahan lingkungan selama penerbangan yang harus di waspadai adalah seperti, perubahan suhu, tekanan udara, turbulensi, kebisingan, getaran, pergerakan yang minim, pencahayaan yang minim, gaya gravitas, dan kelembaban udara.

Anda telah menyelesaikan kegiatan belajar 5. Bagaimana dengan materinya? Menarik bukan? Yuk istirahat sejenak untuk memulihkan konsentrasi!



Sekarang Saya Tahu

1. Macam-macam perubahan lingkungan yang dapat berpengaruh terhadap evakuasi
2. Perubahan tekanan udara dalam lingkungan penerbangan

3. Perubahan suhu udara dalam lingkungan penerbangan
4. Turbulensi dalam penerbangan
5. Penanganan terhadap terjadinya perubahan lingkungan penerbangan

BAB 6

BEBERAPA KONDISI YANG BERPENGARUH SELAMA MELAKUKAN PERJALANAN UDARA



BAB 6

BEBERAPA KONDISI YANG BERPENGARUH SELAMA MELAKUKAN PERJALANAN UDARA

A. Pendahuluan

Mabuk udara adalah subkategori mabuk perjalanan. Hal ini disebabkan oleh pergerakan fisik, dimana sistem vestibular dan propriozeptif memberikan informasi tentang pergerakan yang tidak sejalan dengan persepsi visual seseorang. Kondisi fisiologis ini merupakan konsekuensi dari paparan rangsangan gerak yang asing dan non-evolusioner di udara. Tanda-tanda dan gejala mabuk perjalanan meliputi pucat, berkeringat dingin, peningkatan pergerakan usus, sakit kepala, mual dan muntah (Samuel and Tal, 2015).

Jet lag merupakan gangguan tidur yang sudah diketahui terutama bagi kebanyakan orang yang pernah mengalami penerbangan ke luar negeri. Hal ini terjadi karena terganggunya ritme sirkadian akibat transisi cepat melintasi zona waktu, sehingga mengakibatkan ketidaksinkronan antara waktu setempat dan jam sirkadian manusia (yang biasanya diatur oleh siklus terang-gelap matahari) (Ambesh et al., 2018).

B. Indikator Hasil Belajar

1. Memahami mabuk udara dalam penerbangan
2. Memahami terjadinya jet lag pada penerbangan
3. Melakukan antisipasi dan penanganan terjadinya kondisi yang dipengaruhi perjalanan udara

C. Sub Materi Pokok

1. Mabuk udara dalam penerbangan
2. Jet lag pada penerbangan

Uraian Sub Materi Pokok 6

Bapak ibu, setelah mempelajari beberapa kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara. Menurut Bapak Ibu apakah kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara sulit? Tidak sulit Bapak ibu! Yuk pelajari materi dibawah ini!



Sekarang Saya Tahu

1. Perjalanan Udara

Beberapa kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara, antara lain :

a. Mabuk perjalanan

Mabuk perjalanan adalah efek samping yang paling sering dilaporkan dari perjalanan pesawat. Posisi kepala yang tidak biasa, turbulensi yang tidak terduga, berkontribusi dalam hal ini. Pasien dengan kondisi yang menghalangi kemampuan mereka untuk melihat ke luar jendela atau kondisi nauseogenic, dapat mengkonsumsi profilaksis obat anti-mual sebelum keberangkatan. Beberapa anggota tim penerbangan dapat mengatasi mabuk perjalanan dengan melihat ke luar (Cheung, 2022).

b. *Jet lag* atau desinkronisasi sirkadian



Jet lag dihasilkan dari desinkronisasi jam tubuh dengan isyarat Dari materi kondisi yang berpengaruh selama penerbangan diatas, silakan jelaskan secara singkat mabuk perjalanan dengan menggunakan bahasa Bapak Ibu sendiri!

Mabuk perjalanan adalah suatu respon tubuh akibat dari pergerakan fisik yang dialami seseorang yang tidak sejalan dengan persepsi visual seseorang.

**Anda telah menyelesaikan kegiatan belajar 6. Bagaimana dengan materinya?
Menarik bukan? Yuk istirahat sejenak untuk memulihkan konsentrasi!**

1. Konsep mabuk perjalanan
2. Tanda dan gejala mabuk perjalanan
3. Konsep jet leg



TEST FORMATIF

1. Lapisan atmosfir merupakan
 - a. Lapisan yang berupa padat yang berfungsi melindungi bumi
 - b. Lapisan yang berupa cair yang berfungsi melindungi bumi
 - c. Lapisan yang berupa gas yang berfungsi melindungi bumi
 - d. Lapisan yang berupa kristal yang berfungsi melindungi bumi
2. Yang termasuk hukum gas fisik, *kecuali*....
 - a. Hukum Boyle
 - b. Hukum Dalton
 - c. Hukum Newton
 - d. Hukum Charles
3. Ilmu yang mempelajari prinsip dasar mekanik terhadap respon tubuh manusia selama penerbangan disebut.....
 - a. Biodinamika penerbangan
 - b. Hukum gas fisik penerbangan
 - c. Dekompresi penerbangan
 - d. Altitude penerbangan
4. Hipoksia hipobarik adalah....
 - a. Kekurangan kadar oksigen dalam tubuh akibat berada pada dataran rendah
 - b. Kekurangan kadar oksigen dalam tubuh akibat berada pada ketinggian
 - c. Kekuarangan kadar oksigen dalam tubuh akibat berada di kedalam air
 - d. Kelebihan kadar oksigen dalam tubuh akibat berada pada dataran rendah
5. Terminologi dekompresi merupakan suatu gejala pada tubuh yang diakibatkan oleh.....
 - a. Perubahan suhu tubuh selama penerbangan
 - b. Perbedaan cairan output dan input pada urin
 - c. Perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan terperangkapnya gas
 - d. Perubahan tekanan darah sebelum pre-evacuation dan intra-evacuation
6. Mabuk perjalanan adalah kondisi dimana....

- a. Terjadinya perbedaan informasi persepsi antara pergerakan fisik dan persepsi visual
- b. Gangguan tidur
- c. Gangguan defekasi
- d. Gangguan nutrisi

Kunci jawaban

- 1.C
- 2.C
- 3.A
- 4.B
- 5.C
- 6. A

REFERENSI

1. Introduction to aviation physiology. Wald A fay C and Gleich R (2012), USA
2. Aeromedical Evacuation Nato Standard. NATO (2018)
3. Critical Care transport standart version 1.0 ACCT for patients (2016)
4. Aeromedical transportation a clinical guiede 2nd edn . Martin T (2016)
5. Risk factors in air transport for patients. Health Scince Jounal. Intas G and stergiannis P (2013)
6. Retrieval Medicine. Evans, C., Creaton A and Kennedy M (2017) UK Press, Oxfors University
7. The Psychology of attitutes and attitude change 3rd edn, Gregory R.M. Geoffrey, H. and Bas, V. (2019)Melbourne
8. EMS Flight Barotrauma Skinner RB and Rawal AR (2020), Florida: StarPearls Publishing LLC
9. Effects og flight Emergency medical services: Clinical Practice and System oversight Their Edition. Thomson DP and AJL (2021)
10. Effects of flight, emergency medical services; clinical practice and system oversight; second edition. Thomson DP (2015)
11. NOAA (2023) Layers of the Atmosphere. Available at: <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/layers-of-atmosphere> (accessed 6 September 2023).
12. Wyatt F (2014) Physiological responses to altitude: A brief review. *Journal of the American Society of Exercise Physiologists* 17(February): Altitude, Acclimatization, Acute / Chronic Adaptat.
13. Martin T (2017) Aeromedical Transportation: A Clinical Guide. In: *Technology & Engineering*. 2nd ed. New Zealand: CRC Press, 2017, p. 312.
14. Tarver WJ, Volner K and Cooper JS (2022) Aerospace Pressure Effects. *PubMed*. StatPearls Publishing LLC.
15. Avishay DM and Tenny KM (2023) Henry's Law. *StatPearls Publishing LLC*. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544301/>.
16. Chandan G and Cascella M (2019) Gas Laws and Clinical Application. *StatPearls* (September). Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31536199>.
17. Brown JPR and Grocott MPW (2013) Humans at altitude: Physiology and pathophysiology. *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care and Pain* 13(1): 17–22. DOI: 10.1093/bjaceaccp/mks047.
18. Savioli G, Ceresa IF, Gori G, et al. (2022) Pathophysiology and Therapy of High-Altitude Sickness: Practical Approach in Emergency and Critical Care. *Journal of Clinical Medicine* 11(14). DOI: 10.3390/jcm11143937.
19. Ambesh P, Shetty V, Ambesh S, et al. (2018) Jet lag: Heuristics and therapeutics Paurush. *Journal of Family Medicine and Primary Care* 6(2): 169–170. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc.

20. Samuel O and Tal D (2015) Airsickness: Etiology, treatment, and clinical importance—a review. *Military Medicine* 180(11): 1135–1139. DOI: 10.7205/MILMED-D-14-00315.

SINOPSIS

Fisiologi penerbangan atau aerofisiologi merupakan ilmu yang mempelajari perubahan fisik dan upaya kesehatan yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan fisik dan mental guna menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan penerbangan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perubahan fisik dan mental awak pesawat dan penumpang selama di penerbangan antara lain pengaruh ketinggian terbang, gaya akselerasi dan disorientasi pada penerbangan. Perubahan lingkungan penerbangan tersebut jika tidak diantisipasi akan berdampak terhadap kesehatan awak pesawat dan memperberat kondisi pasien selama di penerbangan. Hal ini membuat awak pesawat dan penumpang perlu untuk mendapatkan edukasi dan intervensi dari dokter/ perawat penerbangan untuk dapat mengantisipasi dan meminimalisir terjadinya dampak fisiologi penerbangan tersebut. Di dalam Buku ini menjelaskan secara singkat tentang dasar-dasar fisiologi penerbangan, yang meliputi konsep lapisan atmosfer, hukum fisika dalam penerbangan, biodinamika penerbangan, fisiologi dan efek ketinggian, lingkungan penerbangan dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia dan kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara. Selanjutnya Buku ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pelaksanaan pelatihan perawat penerbangan di masa yang akan datang.

Fisiologi penerbangan atau aerofisiologi merupakan ilmu yang mempelajari perubahan fisik dan upaya kesehatan yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan fisik dan mental guna menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan penerbangan.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perubahan fisik dan mental awak pesawat dan penumpang selama di penerbangan antara lain pengaruh ketinggian terbang, gaya akselerasi dan disorientasi pada penerbangan.

Perubahan lingkungan penerbangan tersebut jika tidak diantisipasi akan berdampak terhadap kesehatan awak pesawat dan memperberat kondisi pasien selama di penerbangan. Hal ini membuat awak pesawat dan penumpang perlu untuk mendapatkan edukasi dan intervensi dari dokter/ perawat penerbangan untuk dapat mengantisipasi dan meminimalisir terjadinya dampak fisiologi penerbangan tersebut.

Di dalam Buku ini menjelaskan secara singkat tentang dasar-dasar fisiologi penerbangan, yang meliputi konsep lapisan atmosfer, hukum fisika dalam penerbangan, biodinamika penerbangan, fisiologi dan efek ketinggian, lingkungan penerbangan dan pengaruhnya terhadap tubuh manusia dan kondisi yang berpengaruh selama melakukan perjalanan udara. Selanjutnya Buku ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pelaksanaan pelatihan perawat penerbangan di masa yang akan datang.



| **|**

Penerbit:
PT Nuansa Fajar Cemerlang
Grand Slipi Tower Lt. 5 Unit F
Jalan S. Parman Kav. 22-24
Kel. Palmerah, Kec. Palmerah
Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia, 11480
Telp: (021) 29866919



Anggota IKAPI No. 624/DKI/2022

