

**HUBUNGAN UMUR, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC TERHADAP
WAKTU SADAR EFEKTIF PENERBANG TNI AU
DI *HYPOBARIC CHAMBER***

TESIS

**Diajukan sebagai salahsatu syarat untuk memperoleh gelar
MAGISTER BIOMEDIK (M.Biomed)**

**Dr ANWAR LEWA
NPM 0606150694**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS KEDOKTERAN
PROGRAM MAGISTER ILMU BIOMEDIK
KEKHUSUSAN FISILOGI
JAKARTA
DESEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Anwar Lewa
NPM : 0606150694
Program Studi : Ilmu Biomedik
Tanggal : 28 Desember 2009

Tanda Tangan



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

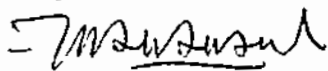
Nama : Anwar Lewa
NPM : 0606150694
Program Studi : Magister Ilmu Biomedik (Kekhususan Fisiologi)
Judul Tesis : Hubungan Umur, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di *Hypobaric Chamber*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Biomedik pada Program Studi Ilmu Biomedik (Kekhususan Fisiologi), Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr. Dewi Irawati Soeria Santoso, MS ()
Pembimbing II : Kol Kes Dr. Dolly RD Kaunang SpJP, SpKP ()
Penguji I : Prof. Dr. Mohammad Sadikin, DSc ()
Penguji II : Dr. Tomi Harjatno, MS ()
Penguji III : Dr. Aida Tantri, SpAn ()

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal : 28 Desember 2009
Ketua Program Studi Magister Biomedik



(Dr. rer. physiol. dr. Septelia Inawati Wanandi)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama perkenankanlah saya memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih dan karunia-Nya yang memungkinkan saya menyelesaikan tesis saya, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister pada Program Studi Ilmu Biomedik Kekhususan Fisiologi, Program PascaSarjana Universitas Indonesia.

Saya sadar sepenuhnya bahwa tesis ini bisa rampung pada waktunya karena bantuan dan bimbingan yang tak ternilai dari banyak pihak. Oleh karena itu izinkanlah saya dengan tulus dan dengan segenap hati menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

- 1) Dr. Dewi Irawati, MS, selaku pembimbing I yang dengan penuh kesabaran dan ketelitian mengarahkan dan memberikan semangat kepada saya selama pembuatan proposal, pelaksanaan, sampai penulisan hasil penelitian.
- 2) Kol Kes Dr. Dolly R.D Kaunang, SpJP,SpKP, sebagai pembimbing II, atas motivasinya, masukan dan nasehatnya selama pembuatan proposal, pelaksanaan, sampai penulisan hasil penelitian.
- 3) Prof. Dr. Mohammad Sadikin, DSc sebagai penguji yang memberikan masukan yang berharga, mengarahkan saya untuk hasil tesis yang lebih baik.
- 4) Dr. Tomi Hardjatno, MS selaku penguji yang mengarahkan dan memberikan masukan yang berharga dalam proses pembuatan penelitian masukan perbaikan untuk tesis yg lebih baik dan juga telah menerima saya sebagai peserta S2 di kekhususan Fisiologi, ketika menjabat Kepala Departemen Ilmu Faal, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- 5) Dr. Aida Tantri, SpAn selaku penguji yang memberikan masukan yang berharga, mengarahkan dan memberikan perbaikan untuk hasil tesis yang lebih baik.
- 6) Dr. dr. Ratna Sitompul, SpM (K) sebagai Dekan FKUI dan Prof. dr. Menaldi Rasmin, SpP (K) FCCP sebagai Dekan periode 2004-2008 yang menerima saya sebagai mahasiswa biomedik.

- 7) DR. Dr. Ermita Ilyas, selaku Kepala Departemen Ilmu Faal Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, yang selama beliau masih menjabat ketua kekhususan Fisiologi dengan sabar memberi motivasi kepada saya hingga saat ini beliau menjabat kepala Departemen Ilmu Faal.
- 8) Dr. rer. physiol. dr. Septelia Inawati Wanandi sebagai KPS S2 Ilmu Biomedik yang sudah mengizinkan saya untuk belajar di Program Magister Ilmu Biomedik dan dorongan motivasinya sehingga saya bisa terpacu menyelesaikan tugas akhir ini.
- 9) Dr. Nurhadi, PhD, selaku Ketua Kekhususan Fisiologi yang terus memberikan semangat untuk menyelesaikan Tesis ini.
- 10) Marsma TNI Dr. Mariono Reksoprodjo, SpOG, SpKP selaku Kepala Lakespra Sartyanto TNI AU dan beserta stafnya Kol Dr. Bambang Hendro, MS (Kepala Aerofisiologi), Kol Dr. Herman Mulyadi, MS (staf Ahli), Letkol Dr. Bambang Gunadi, SpR (Kepala Lab Aerofisiologi), Letkol Dr. Bobby Drastyawan, SpP (Kepala Klinik Paru), Dr. Primatia, SpPK (Kepala Laboratorium), Letkol Petrus, SPD (Ka Klinik Samapta). Yang semuanya merupakan senior saya sekaligus atasan saya yang mensupport saya dari awal hingga akhir saat penelitian ini berlangsung.
- 11) Brigjend TNI Dr. Arwin, SpKJ selaku Direktur Kesehatan Ditjen Kesehatan yang mensupport saya dalam dana Pendidikan dan Penelitian.
- 12) Rekan-rekan S2 Biomedik, Rekan-rekan di Aerofisiologi, rekan-rekan di Klinik Samapta, rekan-rekan di Laboratorium Aeroklinik, rekan-rekan di Dephan, rekan-rekan di SeSa Halim Perdana Kusuma khususnya Kapten Sus Wasito Sidi dkk yang tidak saya sebutkan satupersatu namanya. Terima kasih atas bantuannya.

Orang Tua (Mama) yang siang malam terus mendoakan saya agar bisa Lulus. Anak saya (Gilbert dan Michelle) yang mengisi hari-hari saya dengan keceriaan dan istri saya Jenny yang tercinta atas pengertiannya dan pengorbanannya, terimakasih atas

dukunganmu, kesabaranmu, pengertianmu serta cintamu. Tanpa kalian saya tidak mungkin bisa menyelesaikan tesis ini.

Dengan rendah hati penulis menyadari bahwa tidak ada karya yang sempurna selain karya-Nya. Seandainya ada kekurangan dalam penulisan tesis ini maka mohon kiranya dapat memberikan koreksi kepada penulis. Akhirnya kepada segenap pembaca karya ini penulis menghaturkan penghargaan dan ucapan terima kasih.

Jakarta, 28 Desember 2009



(Anwar Lewa)

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Anwar Lewa
NPM : 0606150694
Program Studi : Ilmu Biomedik
Departemen : Fisiologi Kedokteran
Fakultas : Kedokteran
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan Ilmu pengetahuan , menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (non-exclusive Royalty Free Right)** atas Karya Ilmiah saya yang berjudul :

Hubungan Umur, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di Hypobaric Chamber

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak bebas Royalti Non Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan mengalihkan/ formatkan, mengelola dalam-bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta
Pada tanggal : 28 Desember 2009
Yang menyatakan

(Anwar Lewa)

ABSTRAK

Nama : Anwar Lewa

Program Studi : Magister Ilmu Biomedik

Judul : Hubungan Umur, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di *Hypobaric Chamber*

Latar belakang.

Meskipun kondisi pesawat terbang saat ini sudah mengalami modernisasi dengan otomatisasi dan disertai dengan kabin bertekanan. Bukan berarti menyingkirkan bahaya hipoksia di dalam dunia penerbangan. Terbukti dengan masih banyaknya angka kecelakaan yang disebabkan oleh karena sebab hipoksia yang terutama disebabkan karena kegagalan sistem kabin bertekanan. Bahaya hipoksia dibidang penerbangan dapat menyebabkan inkapasitas bagi penerbangnya sehingga accident adalah hasil akhirnya. Manusia tidak memiliki sistem peringatan dini untuk mengenali adanya hipoksia, sehingga diperlukan pengalaman dalam demonstrasi yang dilakukan di hipobarik chamber. Hasil dari pengalaman itulah yang diharapkan dalam latihan ILA yang diselenggarakan oleh Lakespra Saryanto TNI AU untuk dapat segera mengantisipasi ketika terjadi situasi hipoksia baik yang disengaja ataupun tak disengaja.

Metode.

45 orang perwira penerbang dari berbagai usia melaksanakan latihan demonstrasi hipoksia di hipobarik chamber di FL 250 lalu melaksanakan tugas hitungan matematika ringan dalam jangka waktu 5 menit. Setiap subjek yang berhenti ditengah selang waktu tsb maka saat itulah waktu sadar efektif (WSE) dicatat. Sebagai parameter fisiologi yang ingin dicari adalah umur, Hb, persentase FVC terhadap ref, persentase FEV₁/FVC, dan VO₂max sebagai variabel independen untuk dicari korelasinya dengan WSE. Setelah diketahui korelasi masing-masing variabel dilakukan analisis multivariat untuk menilai faktor dan kekuatan korelasi dan untuk mendapatkan model.

Hasil.

Variabel independen sebagai parameter fisiologis yang memiliki korelasi bermakna ($p < 0,005$) dengan urutan dari yang terkuat adalah umur ($r = -0,786$), Hb ($r = 0,685$), VO₂ max (0,346). Model yang di dapatkan adalah :

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$$

Kesimpulan

Dengan diketahuinya model dalam memprediksikan WSE maka akan sangat membantu dalam proses pemilihan dan pembinaan personel dan diharapkan dapat menurunkan angka kejadian kecelakaan akibat hipoksia.

Kata kunci: Waktu Sadar efektif, hipoksia, VO₂max, FEV₁, FVC, Hb, Aging, hipobarik chamber, Lakespra Saryanto

ABSTRACT

Name : Anwar Lewa
Program : Magisterial Biomedical Science
Title : The Correlation between Age, Hb, FVC, FEV₁/FVC dan VO₂ max and Time Useful Consciousness Indonesian Air Force Pilot in Hypobaric Chamber

Background

Even though the condition of the aircrafts have been modernized with automatically equipment and pressured cabin. It doesn't meant we can neglect the danger of hypoxia in aviation as there are a large number of accident had occurred, caused by hypoxia, particularly due to failure of the system of pressured cabin. The danger of hypoxia in aviation can cause the pilots are incapacity then they can get accident. Human doesn't own early warning system to identify hypoxia so it requires experience to demonstrate in hypobaric chamber . The result of experience are obtained during hopefully. The training of ILA which is held in Lakespra Saryanto; Indonesian Air Force on the purpose of anticipating the danger of hypoxia whether it occurs consciously or not.

Method

45 Pilot officers with different ages conduct the training of Hypoxia demonstration in Hypobaric Chamber at FL 250, to complete the test in the form of moderate mathematics in five minute. Every single subject which stops in the mid of time that's the TUC recorded. As parameter of physiology being observed are ages, Hb, percentage of FVC to the reference, percentage of FEV₁/FVC, and VO₂ max as independent variable to find the correlation with TUC. After finding the correlation of each variable, then there's analysis of multivariate to score the factors, the strength of correlation, and find the model.

Result

Independent variable as the parameter of physiology which has correlation equal to ($p < 0,005$) ages is the strongest ($r = -0,786$), Hb ($r = 0,685$) and VO₂ max ($r = 0,346$). The models resulted are as follow:

$$\text{TUC (seconds)} = 368,429 - 4,563 (\text{age}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2 \text{ max})$$

Conclusion

After we found the model of predicting TUC, hopefully it can help to selecting and manage the personnel, finally it can reduce the number of accident due to the danger of hypoxia

Key words:

TUC, hypoxia, VO₂ max, FEV₁/FVC, FVC, Hb, Aging, Hypobaric Chamber, Lakespra Saryanto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN TANDA	xvi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Pertanyaan Penelitian	6
1.4 Hipotesis Penelitian	7
1.5 Tujuan penelitian	
1.5.1 Tujuan Umum	7
1.5.2 Tujuan khusus	7
1.6 Manfaat penelitian	
1.6.1 Aspek akademik	8
1.6.2 Aspek pelayanan masyarakat	8

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Atmosfer	9
2.2 Fisiologi di Lingkungan Ketinggian	20
2.3 Faktor-faktor fisiologis yang Berhubungan dengan Kejadian Hipoksia	36

3. METODE

3.1 Desain Penelitian	57
3.2 Waktu dan tempat penelitian	57
3.3 Populasi	57
3.4 Kriteria Inklusi dan esklusi	57

3.5	Besar sampel	58
3.6	Cara Pengambilan sampel	58
3.7	Cara Kerja penelitian	58
3.8	Manajemen dan analisis data	62
3.9	Persyaratan Etik	63
4. HASIL PENELITIAN		
4.1	Perolehan Data Hasil Penelitian	65
4.2	Pengaruh Umur terhadap waktu sadar efektif	66
4.3	Pengaruh Hb terhadap waktu sadar efektif	67
4.4	Pengaruh FVC terhadap waktu sadar efektif	68
4.5	Pengaruh FEV ₁ /FVC terhadap waktu sadar efektif	69
4.6	Pengaruh VO ₂ max terhadap waktu sadar efektif	69
4.7	Pengaruh Multifaktorial terhadap waktu sadar efektif	70
5. PEMBAHASAN		
5.1	Keterbatasan dan kelayakan penelitian	77
5.2	Pengaruh Umur terhadap waktu sadar efektif	78
5.3	Pengaruh Hb terhadap waktu sadar efektif	79
5.4	Pengaruh FVC & FEV ₁ /FVC terhadap waktu sadar efektif	80
5.5	Pengaruh VO ₂ max terhadap waktu sadar efektif	82
5.6	Pengaruh Multifaktorial terhadap waktu sadar efektif	83
6. KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan	85
6.2	Saran	85
DAFTAR REFERENSI		87
LAMPIRAN		90
RIWAYAT HIDUP		110
DRAFT ARTIKEL		111

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penyebab insiden <i>depressurization</i> berdasarkan tipe pesawat ...	4
Table 2.1 Proses penuaan pada sistem kardiovaskuler	54
Table 2.2 Proses penuaan pada sisem pernapasan	54
Tabel 4.1 Silsilah subjek penelitian.....	65
Tabel 4.2 Karakteristik variable Umur, Pangkat, TUC, Hb, FVC, FEV1/FVC dan VO2 max.....	66
Tabel 4.3 Statistik deskriptif umur dan WSE	66
Tabel 4.4 Korelasi antara Umur dan WSE	67
Tabel 4.5 Statistik deskriptif Hb dan WSE	67
Tabel 4.6 Korelasi antara Hb dan WSE	67
Tabel 4.7 Statistik deskriptif <i>Persentase FVC terhadap referensi</i> dan WSE	68
Tabel 4.8 Korelasi antara <i>Persentase FVC terhadap referensi</i> dan WSE	68
Tabel 4.9 Statistik deskriptif <i>Persentase FEV₁/FVC</i> dan WSE	69
Tabel 4.10 Korelasi antara <i>Persentase FEV₁/FVC</i> dan WSE	69
Tabel 4.11 Statistik deskriptif VO2 max dan WSE	69
Tabel 4.12 Korelasi antara VO ₂ max dan WSE	70
Tabel 4.13 Model untuk memprediksikan WSE	71
Tabel 4.14 Uji ANOVA	72
Tabel 4.15 Model Summary	72
Tabel 4.16 Statistik deskriptif dari nilai residu.	75
Tabel 4.17 Tes Normalitas distribusi residu	75
Table 4.18 korelasi Residu dan Variabel bebas	76

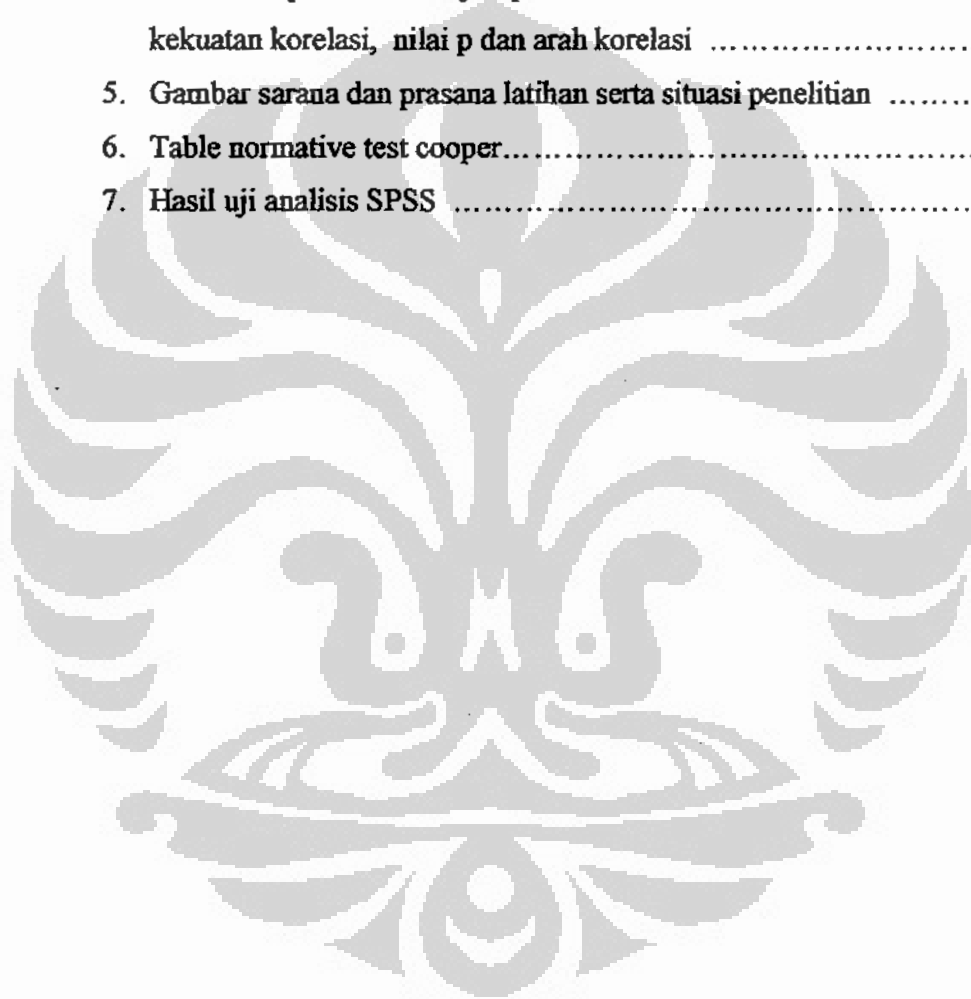
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kecelakaan pesawat <i>lear jet 35</i> di South Dakota Amerika Serikat	2
Gambar 1.2 Kecelakaan pesawat Helios Airways Flight 522.....	3
Gambar 2.1 Nilai standar tekanan/temperature pada latitude (garis lintang) 40° , dengan temperatur 36°F (2°C)	12
Gambar 2.2 Perbandingan volume dari udara kering saat ketinggian meningkat dan penurunan tekanan.	13
Gambar 2.3 Efek udara kering dan basah pada ekspansi gas	14
Gambar 2.4 Sejumlah gas yang terbentuk/tampak ketika tekanan dalam botol turun	15
Gambar 2.5 Difusi gas melintasi membran dari tekanan parsial tinggi ke tekanan parsial rendah	17
Gambar 2.6 Ulasan mengenai hukum gas yang digunakan dalam lingkungan fisiologi penerbangan	17
Gambar 2.7 Pembagian atmosfer yang berlapis berdasarkan temperaturnya.....	18
Gambar 2.8 Tipe hipoksia dan penyebabnya	22
Gambar 2.9 Derajat hipoksia yang dihubungkan dengan level oksigen Arterial	25
Gambar 2.10 Merokok akan meninggikan physiological altitude (*ketinggian dalam 1.000 kaki)	30
Gambar 2.11 WSE menurun seiring dengan ketinggian	33
Gambar 2.12 Perbandingan antara hipoksia dan hiperventilasi.....	36
Gambar 2.13 Proses Transportasi Gas dalam Tubuh Manusia	37
Gambar 2.14 . Pertukaran Gas dalam Tubuh	40

Gambar 2.15	Gambar Volume Paru saat inspirasi dan ekspirasi	42
Gambar 2.16	Distribusi <i>cardiac output</i> saat istirahat dan latihan berat	43
Gambar 2.17	Tekanan parsial gas di sistem pernapasan dan kardiovaskular.....	44
Gambar 2.18	Kurva Dissosiasi Oksigen-Hemoglobin	48
Gambar 2.19	Kalkulator Cooper test untuk menghitung VO_2 max	51
Gambar 2.20	Kerangka Teori yang menunjukkan berbagai hubungan yang mempengaruhi Hipoksia dan waktu sadar efektif	55
Gambar 3.1	Profil terbang di ruang udara bertekanan rendah	61
Gambar 4.1	Scatter Plot antara variable independen dan dependen	74
Gambar 4.2	Scatter Plot antara standardized residual dengan standardized predicted value	76

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lembar soal untuk Latihan Aerofisiologi Chamber flight	90
2. Lembar pengesahan kaji etik.	90
3. Table syarat regresi linier	95
4. Tabel Interpretasi hasil uji hipotesis berdasarkan kekuatan korelasi, nilai p dan arah korelasi	96
5. Gambar sarana dan prasana latihan serta situasi penelitian	96
6. Table normative test cooper.....	101
7. Hasil uji analisis SPSS	103



DAFTAR ISTILAH

- **1 kaki** : satuan ukuran panjang yang setara dengan 0.305 meter. Satuan ini meski bukan Standar Internasional (SI) tetapi merupakan satuan yang dipakai di dunia penerbangan, berhubung hampir semua peralatan perangkat penerbangan diproduksi oleh Negara yang memakai satuan feet (kaki) sehingga isi tesis ini kebanyakan memakai satuan feet/kaki.
- **Accident** : Kejadian kecelakaan pesawat terbang yang menyebabkan korban jiwa atau total lost
- **Aeromedical** : Berhubungan dengan kesehatan penerbangan
- **ATC** : Menara pengawas lalu lintas udara
- **Bends** : salah satu manifestasi penyakit decompressi yang terjadi di persendian tubuh.
- **BOT** : Basic Orientation Training (latihan untuk mengenalkan bahaya disorientasi). Subjek diputar dengan dalam gondola, seakan-akan terbang tanpa instrument.
- **Buddy** : rekan / pendamping saat melakukan terbang di RUBR.
- **Depressurization** : hilangnya tekanan dalam kabin
- **Ear dan sinus block** : adanya sumbatan atau blok di rongga telinga tengah dan sinus sehingga tidak dapat menyeimbangkan tekanan dengan lingkungan sekitar.
- **FL** : flight level (dalam satuan ratus kaki) misalnya FL 250 setara dengan 25.000 kaki
- **Flight surgeon** : Dokter yang ahli dibidang kesehatan penerbangan yang bertugas di skuadron udara.
- **Grounded** : Pelarangan terhadap penerbang untuk bertugas menerbangkan pesawat dapat bersifat sementara maupun permanen.
- **HUET** : Helicopter Underwater Egress Training (latihan meloloskan diri dari helicopter yang jatuh di perairan).

- **Hypobaric chamber training** : Ruang udara bertekanan rendah (RUBR) sebagai tempat latihan simulasi pengenalan hipoksia. RUBR ini dapat disimulasikan terbang maksimal di ketinggian 100.000 kaki.
- **ILA** : Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi yang merupakan rangkaian latihan di Klinik Aerofisiologi yang terdiri dari latihan :Human Centrifuge, Hipobarik chamber, Ejection training, BOT (Basic Orientation Training), Positive Pressure Breathing, HUET (Helicopter Underwater Egress training).
- **Incident** : Kejadian kecelakaan pesawat terbang yang tidak menyebabkan korban jiwa atau total lost (pesawat tidak dapat dipakai lagi).
- **Inside observer** : Petugas RUBR yang ikut terbang simulasi dan memantau para peserta latihan dan akan membantu peserta apabila mengalami kesulitan atau masalah di RUBR .
- **korps PNB** : korps Penerbang
- **LAKESPRA** : Lembaga Kesehatan Penerbangan dan Antariksa
- **Outside Observer** : Petugas RUBR yang mengamati dari luar RUBR dan mengawasi jalannya latihan di RUBR.
- **Positive G manuver** : manuver pesawat terbang yang menimbulkan gaya G (G force) biasanya manuver ini membentuk loop dan dilakukan dengan gaya percepatan.
- **Samapta** : istilah dalam lingkungan militer yang berhubungan dengan performa fisik seseorang.
- **Tunnel vision** : penglihatan yang menyempit (seperti melihat melalui tabung).
- **Waktu sadar efektif (WSE)** : kurun waktu antara subjek mulai dipajankan pada daerah hipoksia sampai orang tersebut tidak mampu untuk berorientasi, berkomunikasi, waspada dengan sadar dan bersikap/berperilaku yang efektif baik secara mental maupun fisik. WSE adalah terjemahan dari EPT (*effective performance time*) atau lebih populer di lingkungan penerbangan adalah TUC (*Time Useful Consciousness*).

DAFTAR SINGKATAN DAN TANDA

ATC	Air Traffic Control
DCS	decompression sickness
Diskes	Dinas kesehatan
FEV₁	Force Expiratory Volume in 1 st second
FVC	Force Vital Capacity
Hb	Hemoglobin
ILA	Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi
ISA	<i>International standard atmosphere</i>
Mabes	Markas Besar
MSL	Mean sea level is the average (mean) height of the sea, Ketinggian yang diukur dari permukaan laut
NTSB	National Transportation Safety Board
Ref	Referensi
RUBT	Ruang udara bertekanan rendah
TNI	Tentara Nasional Indonesia
TNI AU	Tentara Nasional Indonesia – Angkatan Udara
USAF	United State Air Force
WSE	waktu sadar efektif

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Semakin tipisnya lapisan udara di atmosfer sesuai dengan derajat ketinggian dari permukaan laut menjadi suatu dilema dalam dunia penerbangan. Betapa tidak, di satu sisi semakin berkurangnya udara atau semakin tinggi di ketinggian berarti semakin efisien dalam penggunaan bahan bakar karena kurangnya gesekan molekul udara terhadap pesawat, tetapi di sisi lain ini akan menjadi risiko terhadap manusia yang mengawaki pesawat tersebut disebabkan karena berkurangnya kandungan oksigen di udara. Sejak tahun 1940-an pesawat komersial dan militer telah menggunakan kabin bertekanan untuk menjaga kondisi tetap aman dan nyaman serta memungkinkan penerbangan tersebut tetap efisien bahan bakar.¹

Terbang di ketinggian beberapa ribu meter bukan menjadi sesuatu yang tidak mungkin lagi karena pesatnya perkembangan teknologi penerbangan akan tetapi terbang di ketinggian juga dihadapkan dengan risiko hipoksia. Saat ini pesawat dengan sistem kabin bertekanan akan melindungi penerbang serta penumpang ketika berada di ketinggian, tetapi jika terdapat kegagalan dalam peralatan tersebut maka kehilangan tekanan dalam kabin dapat terjadi dan penerbang haruslah bersiap apa yang harus dilakukan dan apa yang dapat terjadi akibat hipoksia dalam situasi tersebut.²

Risiko utama ketika pesawat kehilangan tekanannya adalah seluruh penumpang serta penerbangnya akan mengalami hipotermia, decompression sickness (DCS), barotrauma, dan hipoksia. Hipoksik hipoksia adalah masalah fisiologis di lingkungan penerbangan, dan fokus utama tesis ini adalah membahas masalah hipoksik hipoksia.¹

Hipoksia akut merupakan risiko yang sangat serius selanjutnya penerbangan dan hal ini terus berlangsung hingga saat ini (Harding, 1999)³. *Data Statistic National Transportation Safety Board* (NTSB) Amerika Serikat mengungkapkan antara tahun 1965 hingga 1990, terdapat 40 kecelakaan pesawat terbang yang disebabkan

hipoksia, dan berakibat 67 orang meninggal dunia. Di saat yang sama USAF melaporkan 1 kejadian kecelakaan dan 1 orang yang meninggal dunia.⁴

Hal yang mengejutkan pernah terjadi, tepatnya 25 Oktober di tahun 1999, pesawat yang ditumpangi oleh Payne Stewart Juara golf US Open beserta 6 orang penumpang dan crew pesawat lainnya mengalami kecelakaan di Aberdeen, South Dakota, pesawat yang ditumpangi bertipe *lear jet 35*. Pesawat tersebut berangkat dari Orlando melintasi dataran Amerika dan terbang mencapai ketinggian maksimum 45.000 kaki (13.716 m) dalam posisi autopilot dan akhirnya hancur akibat kehabisan bahan bakar. Dari penyelidikan telah diketahui bahwa terjadi kegagalan sistem tekanan kabin pesawat dan hipoksia sebagai penyebab kecelakaan.

^{4,5}

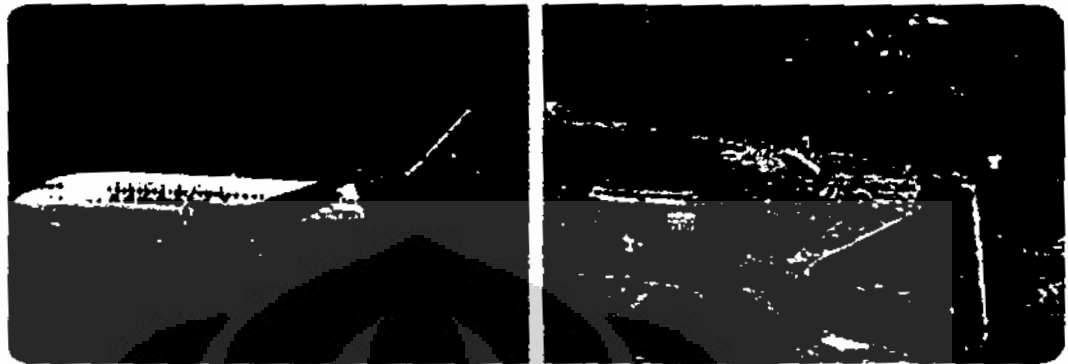


Gambar 1.1 kecelakaan pesawat *lear jet 35* di South Dakota Amerika Serikat

Kecelakaan terjadi tahun 1999, yang menewaskan 6 orang penumpang dan kru pesawat.

Sumber [http:// www.hypoxic-training.com/casestudies.html](http://www.hypoxic-training.com/casestudies.html) (diunduh 2009 Juni 20)⁵

Selain itu di Yunani, pesawat Helios Airways flight 522 (Boeing 737-31S) mengalami kecelakaan (*crash*) 40 km dari kota Athena pada tanggal 14 Agustus 2005. Diketahui korban 121 orang penumpang dan awak pesawat seluruhnya meninggal dunia. Hasil penyelidikan dari kecelakaan tersebut adalah tekanan di dalam kabin tidak beroperasi dengan benar dan hal itu tidak dapat diketahui dengan baik oleh kru yang bertugas sehingga terjadi inkapasitasi karena hipoksia.^{5,6}



Gambar 1.2 Kecelakaan pesawat Helios Airways Flight 522

Kecelakaan yang terjadi di Yunani tahun 2005, 121 orang dinyatakan meninggal dunia. Diketahui penyebab kecelakaan tsb adalah kegagalan sistem tekanan kabin. Sumber [http:// www.hypoxic-training.com/casestudies.html](http://www.hypoxic-training.com/casestudies.html) (diunduh 2009 Juni 20)⁵

Untuk kejadian kecelakaan pesawat di Indonesia khususnya pesawat militer milik TNI sudah terbilang cukup banyak hingga saat ini, kejadian kecelakaan biasanya multifaktor dan salah satu penyebab akibat hipoksik hipoksia adalah kejadian kecelakaan yang terjadi pada 8 januari 2001, Pesawat Cassa Nurtanio (CN) 212 milik TNI AL di Desa Selimo, Kurima, Kab Jayawijaya, Irian Jaya jatuh menyebabkan 10 orang tewas termasuk korbannya Pangdam VIII Trikora Mayjen TNI Tonny Rompis.⁶

Mengingat dampak yang ditimbulkan dari kecelakaan pesawat, maka diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi khususnya yang berkaitan dengan hipoksik hipoksia (hipoksia dibidang penerbangan). Hipoksia dapat menyebabkan gangguan penglihatan, pengambilan keputusan, kontrol motorik dan semua ini menyebabkan inkapasitasi dan apabila kasus yang berat dapat menyebabkan kematian. Oleh karena itu maka diperlukan latihan untuk mengenal tanda-tanda subyektif maupun obyektif hipoksia penerbangan sehingga apabila kru dihadapkan dengan situasi hipoksia akan dengan mudah mengantisipasinya.¹

Hypobaric chamber training merupakan sarana latihan untuk mendemonstrasikan hipoksia kepada para penerbang, dan ini telah banyak

digunakan di pusat-pusat latihan *aeromedical* militer di seluruh dunia. Alat ini bertujuan memberikan edukasi secara individual mengenai pengenalan simptom hipoksia.^{1,2}

Dengan latihan di *hypobaric chamber*, bukan berarti subjek tersebut menjadi tahan atau resisten terhadap hipoksia, sebab manusia tetap mengikuti kodratnya sebagai makhluk darat. Pada penelitian yang dilakukan Andrew Pilmanis, Douglas Files dan James T Webb tentang insiden kejadian, diketahui penyebab terjadinya *depressurization* (hilangnya tekanan dalam kabin) adalah terdapat malfungsi pintu atau sistem tekanan itu sendiri untuk jenis pesawat kargo/ tanker dan gangguan pada kanopi pada pesawat yang menggunakan kanopi untuk lebih jelasnya dapat dilihat di table 1. Dalam tesis ini ingin diteliti korelasi berbagai faktor-faktor fisiologis yang dapat mempengaruhi seseorang individu untuk dapat bertahan lebih lama terhadap kondisi hypoxia.¹

Tabel 1. Penyebab insiden *depressurization* berdasarkan tipe pesawat

Cause	Cargo/Tanker Number (%)	Fighter/Attack Number (%)
Air conditioning	16 (6.8)	13 (3.0)
Pressurization system	39 (16.6)	64 (14.5)
Canopy/Windscreen	1 (0.4)	201 (45.7)
Door/Hatch	39 (16.6)	4 (0.9)
Human Error	14 (6.0)	11 (2.5)
Intentional	19 (8.1)	16 (3.6)
Normal Operations	2 (0.9)	3 (0.7)
Outflow Valve	19 (8.1)	4 (0.9)
Other Mechanical	77 (32.8)	102 (23.2)
Unknown	9 (3.8)	22 (5.0)
Total	235 (100.1*)	440 (100.0)

*Due to rounding error

Sumber : Files Douglas, James T Webb dan Andrew Pilmanis (2005)¹

Hal ini menjadi perhatian dalam tesis ini karena terdapat operasi militer tertentu yang mengharuskan pilot maupun kru yang lain akan terpajan secara

langsung kondisi hipoksia, misalnya dalam operasi penerjunan pasukan di posisi ketinggian 25.000 kaki (7.620 m) MSL (Mean Sea Level) di atas permukaan laut. Oleh sebab itu diperlukan kondisi tubuh yang fit untuk menghadapi situasi tersebut.¹

Penelitian yang ditujukan untuk meneliti korelasi berbagai faktor risiko pada hipoksia penerbangan belum ada padahal pemahaman faktor risiko ini sangat penting guna mendukung kegiatan operasional TNI dan khususnya TNI AU. Penelitian yang telah dilakukan yang menyangkut masalah hipoksik hipoksia adalah yang dilakukan oleh Gordon G Cable, meneliti mengenai incident hipoksia di Angkatan Udara Australia berdasarkan jenis pesawat militer, penyebab hipoksia, ketinggian pesawat saat terjadinya insiden, dan frekuensi simptom yang dialami oleh pilot saat mengalami kejadian hipoksia dalam penerbangan.⁴

Selain itu terdapat pula survey terhadap pilot dengan berbagai latar belakang penerbangan sipil dan militer yang telah melaksanakan latihan hipobarik chamber (RUBT, Ruang udara Bertekanan Rendah) dan menghasilkan kesimpulan rata-rata (diatas 70%) pilot berpendapat pentingnya latihan hipobarik chamber baik itu latihan awal hipobarik chamber maupun latihan periodik hipobarik chamber (Hackworth Carla, Peterson Linda dkk, 2003).²

Berbagai faktor yang ingin diteliti dalam tesis ini adalah faktor-faktor fisiologis yang berkenaan dengan kesehatan Pilot TNI AU. Faktor-faktor tersebut akan sangat berguna, dalam pemilihan personil yang akan ditugaskan dalam operasi-operasi khusus yang faktor risiko / hazard adalah hipoksik hipoksia. Faktor-faktor fisiologis tsb didapat melalui pemeriksaan kesehatan berkala di Lakespra Saryanto TNI AU. Faktor yang akan di teliti disini adalah Hb, VO_2 max dan umur serta fungsi faal paru yaitu FVC dan FEV_1/FVC . Diharapkan dari penelitian ini akan mengungkapkan korelasi multifaktorial terhadap waktu sadar efektif (WSE). Sehingga hasil ini dapat dipakai sebagai instrumen oleh *flight surgeon* (dokter yang bertugas di skuadron) untuk menyeleksi penerbang yang pantas dalam operasi tertentu, maupun dalam meningkatkan kemampuan faali dari pilot itu sendiri.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dalam dunia teknologi penerbangan yang sudah maju, manusia dapat menjadikan pesawat terbang sebagai sarana transportasi ataupun alat pendukung pertahanan Negara. Manusia dengan segala keterbatasannya dapat terbang disuatu ketinggian dengan nyaman dikarenakan sistem pada pesawat yang membuat kondisi fisiologis seperti layaknya di darat. Apabila terdapat suatu kegagalan dari sistem tsb, maka penerbang yang menjadi operator harus cepat tanggap dengan situasi yang berbahaya dan mampu melakukan tindakan pemulihan yang cepat dan tepat. Tetapi di saat yang lain, terdapat kondisi yang memang membuat penerbang akan dihadapkan bahaya hipoksik hipoksia baik disengaja maupun tak disengaja, maka hal ini diperlukan kondisi tubuh yang fit agar mampu / memiliki waktu sedikit lebih banyak untuk mengantisipasi situasi yang membahayakan tersebut yang salah satunya adalah hipoksik hipoksia. Untuk itulah maka parameter fisiologis (Umur, Hb, FVC, FEV₁ /FVC dan VO₂ max) perlu diketahui dan diteliti korelasinya terhadap waktu sadar efektif agar pemilihan personil yang mengawaki pesawat terbang adalah orang yang tepat sehingga kecelakaan pesawat terbang bisa dihindari.

1.3 PERTANYAAN PENELITIAN

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, timbul pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana korelasi antara Umur dengan Waktu sadar efektif?
2. Bagaimana korelasi antara kadar Hb dengan Waktu sadar Efektif?
3. Bagaimana korelasi antara persentase FVC/referensi dengan Waktu Sadar Efektif?
4. Bagaimana korelasi antara persentase FEV₁/FVC dengan Waktu Sadar Efektif?
5. Bagaimana korelasi antara VO₂ max dengan Waktu Sadar Efektif?

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dalam dunia teknologi penerbangan yang sudah maju, manusia dapat menjadikan pesawat terbang sebagai sarana transportasi ataupun alat pendukung pertahanan Negara. Manusia dengan segala keterbatasannya dapat terbang disuatu ketinggian dengan nyaman dikarenakan sistem pada pesawat yang membuat kondisi fisiologis seperti layaknya di darat. Apabila terdapat suatu kegagalan dari sistem tsb, maka penerbang yang menjadi operator harus cepat tanggap dengan situasi yang berbahaya dan mampu melakukan tindakan pemulihan yang cepat dan tepat. Tetapi di saat yang lain, terdapat kondisi yang memang membuat penerbang akan dihadapkan bahaya hipoksik hipoksia baik disengaja maupun tak disengaja, maka hal ini diperlukan kondisi tubuh yang fit agar mampu / memiliki waktu sedikit lebih banyak untuk mengantisipasi situasi yang membahayakan tersebut yang salah satunya adalah hipoksik hipoksia. Untuk itulah maka parameter fisiologis (Umur, Hb, FVC, FEV₁ /FVC dan VO₂max) perlu diketahui dan diteliti korelasinya terhadap waktu sadar efektif agar pemilihan personil yang mengawaki pesawat terbang adalah orang yang tepat sehingga kecelakaan pesawat terbang bisa dihindari.

1.3 PERTANYAAN PENELITIAN

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, timbul pertanyaan sebagai berikut :

1. Bagaimana korelasi antara Umur dengan Waktu sadar efektif?
2. Bagaimana korelasi antara kadar Hb dengan Waktu sadar Efektif?
3. Bagaimana korelasi antara persentase FVC/referensi dengan Waktu Sadar Efektif?
4. Bagaimana korelasi antara persentase FEV₁/FVC dengan Waktu Sadar Efektif?
5. Bagaimana korelasi antara VO₂ max dengan Waktu Sadar Efektif?

1.6. MANFAAT PENELITIAN

Aspek akademik

Hasil penelitian ini diharapkan dapat:

- Mengembangkan bidang fisiologi yang berintegrasi dengan bidang kesehatan penerbangan (aerofisiologi).
- Meningkatkan wawasan kepada akademisi untuk ikut berkecimpung dalam penelitian di bidang fisiologi penerbangan.
- Mendapatkan penambahan ilmu dalam upaya pencegahan bahaya terjadinya kecelakaan pesawat terbang militer.
- Menjadi masukan buat dokter yang bertugas di skuadron agar dapat menentukan faktor-faktor resiko yang berkaitan dengan bahaya hipoksia dan mampu mengeliminasi faktor resiko tsb.

Aspek pelayanan masyarakat

- Bermanfaat bagi pemerintah/pejabat yang berwenang dalam membuat regulasi untuk mencegah timbulnya kecelakaan transportasi pesawat.
- Bermanfaat untuk pilot/penerbang/*aircrew* agar mengerti akan kondisi kondisi fisik sendiri guna kesiapsediaan dalam tugas di penerbangan.
- Bermanfaat bagi dokter skuadron guna mempersiapkan penerbang yang akan dilibatkan dalam operasi tertentu yang dihadapkan dengan masalah hipoksia
- Bermanfaat untuk manajemen proses evakuasi pasien guna mengurangi bahaya di penerbangan yang dapat diderita oleh pasien yang menggunakan transportasi udara sebagai alternatif pengevakasian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab ini akan dibahas mengenai patofisiologi hipoksik hipoksia (hipoksia dalam penerbangan), aspek-aspek fisiologis dalam dunia penerbangan, dan faktor-faktor fisiologis yang berhubungan dengan kejadian hipoksia, dan untuk lebih memahami hal-hal tersebut diperlukan pemahaman yang baik di awal tentang aspek-aspek fisika lingkungan atmosfer sebagai lingkungan tempat kejadian berlangsungnya hipoksia

2.1 ATMOSFER

Dalam dunia penerbangan terdapat 3 hal yang mendasar yaitu pesawat, pilot dan lingkungan tempat pilot berada. Ketiganya saling berinteraksi, tetapi atmosfer sangat mempengaruhi pesawat dan pilot atau penerbang. Pesawat dapat terbang dengan baik di lingkungan udara tipis tetapi pilot tidak. Mesin pesawat dapat lebih efisien jika semakin tinggi di ketinggian tetapi tubuh manusia tidak.

Oleh karena itu seluruh awak pesawat haruslah memiliki pemahaman yang baik mengenai atmosfer dari sudut pandang fisiologi. Pengetahuan penerbang terhadap lingkungan kerjanya akan sangat membantu mengenali bahaya potensial dan perubahan yang sangat kecil yang terjadi di tubuhnya sendiri.⁷

2.1.1 Komposisi Atmosfer⁸⁻¹²

Atmosfer merupakan lapisan udara yang menyelimuti bumi dan tingginya hingga mencapai 25.000 mil (40.000 km) jauhnya. Atmosfer berotasi terhadap bumi dan terus mengalami perubahan temperatur dan tekanan. Dalam kondisi yang dinamis, komposisi atmosfer dinyatakan dalam persentase, misalnya persentase oksigen sekitar 21 persen, menggambarkan komposisi oksigen yang ada di atmosfer permukaan bumi. Terdapat perubahan atau variasi dari persentase dari gas-gas yang ada di permukaan bumi ini tetapi dalam derajat yang sangat kecil (kurang dari 5 %).

Oksigen

Gas yang tak berwarna, tak berasa, dan tak berbau dan merupakan unsur yang banyak di muka bumi. Oksigen meliputi 20.9 % atau sekitar seperlima dari gas yang ada di atmosfer. Oksigen yang ada di atmosfer umumnya bersumber dari proses

fotosintesis tumbuhan yang berasal dari karbondioksida dan air. Dari seluruh gas yang ada di atmosfer, oksigen adalah gas yang sangat penting dalam menunjang kehidupan.

Nitrogen

Gas yang tidak berwarna, berbau dan tidak berasa serta merupakan elemen gas yang bebas di atmosfer dalam bentuk gas Nitrogen (N_2). Nitrogen merupakan gas yang paling berlimpah di atmosfer dan jumlahnya meliputi 78.098 % dari seluruh gas di atmosfer. Alhasil, Nitrogen menjadi penentu utama tekanan gas total di atmosfer di muka bumi dan di tubuh manusia.

Gas Nitrogen merupakan salah satu zat yang esensial dalam pembangun kehidupan di muka bumi, Nitrogen juga penting dalam proses metabolisme di tubuh manusia. Tetapi jika kelarutannya di jaringan tubuh berkurang, maka dapat menjadi masalah, misalnya *bends*.

Karbondioksida

Gas Karbondioksida (CO_2) merupakan gas yang tak berbau, berasa dan berwarna dan jumlahnya 0.03% di atmosfer. Gas ini juga berpengaruh dalam kondisi fisiologis tubuh manusia di dunia penerbangan. Karbondioksida dihasilkan dari proses pernapasan dan proses pembakaran dan karbondioksida sedikit lebih berat dibandingkan udara. Dan saat ini Karbondioksida meningkat jumlahnya secara signifikan dibandingkan berabad yang lalu.

Gas Inert

Meliputi kurang dari 1 persen dari atmosfer, gas inert/mulia meliputi argon (0.93 %), Neon (0.0018 %), helium (0.0005 %), Krypton (0.0001 %), hidrogen (0.00005 %), dan metana (0.0002 %). Gas ini jarang di atmosfer dan punya sedikit dampak pada fisiologi tubuh.

Uap air

Ketika berbicara mengenai kelembaban udara, berarti kita membicarakan uap air yang terkandung dalam udara sekitar. Kandungan air di udara bergantung pada seberapa banyak air yang tersisa di udara sesuai dengan perubahan temperatur. Persentase dari air uap air menyusut secara dramatis saat kita naik di ketinggian.

Dibandingkan dengan troposfer, stratosfer keadaannya hampir kering. Uap air di atmosfer bersumber dari salah satunya evaporasi dari tubuh.

Ozone

Ozone adalah gas berwarna biru pucat tidak stabil dan memiliki bau yang menusuk yang khas dan sering ditemui saat hujan badai dengan petir dan di sekitar alat-alat elektrik yang memancarkan bunga api. Ozone dibentuk dari aksi fotokimia oksigen di atmosfer, konsentrasi yang terbanyak berada di level ketinggian lebih dari 5 mil. Konsentrasi Ozone bergantung pada musim, garis lintang dan ketinggian dari permukaan laut. Lapisan ozone terbanyak konsentrasinya di stratosfer, ozone tidak dipertimbangkan sebagai komponen penyusun atmosfer. Di sekitar tahun 1980an, lapisan ozon menjadi issue perdebatan di dunia karena hubungannya dengan perlindungan dari bahaya radiasi.

2.1.2 Karakteristik Fisik Atmosfer^{7,10-12}

Atmosfer pada dasarnya adalah keseluruhan gas yang melingkupi permukaan bumi dan memiliki persamaan karakteristik seperti sejumlah udara yang berada di dalam sebuah wadah tertutup di laboratorium fisika. Masing-masing gas yang ada di atmosfer memiliki efek langsung terhadap tubuh manusia khusus di dunia penerbangan.

Sebagai tambahan, ketidakstabilan dan sifat dinamis dari atmosfer ini membuat kesulitan dalam meramalkan apa yang akan terjadi ketika kita sedang terbang di udara. Secara garis besarnya sifat fisik dari berbagai campuran gas di atmosfer adalah di Gambar 2.1.

Temperatur

Pancaran radiasi matahari memanaskan permukaan bumi, dan kemudian akan dipancarkan kembali panasnya ke seluruh udara atmosfer. Saat kita naik ke ketinggian, maka temperatur akan turun secara bertahap dan dapat diprediksi sesuai dengan ketinggian troposfer. Penurunannya sekitar 3.56°F (1.98°C) per 1000 kaki (305 meter). Temperatur ini terus menurun hingga mencapai ketinggian tropopause, sekitar 35.000 kaki (10.668 m). Tropopause lebih tinggi areanya di sekitar garis

khatulistiwa, sehingga temperaturnya lebih rendah di ketinggian (hingga 80.000 kaki atau 24.384 m)). Temperatur juga bervariasi tergantung dari musim di sepanjang tahun, sebab troposfer akan lebih tinggi saat musim panas jika dibandingkan dengan musim dingin.

Altitude (Feet)	Pressure			Temperature	
	(Inches Hg)	(mm Hg)	(PSI)	(°C)	(°F)
0	29.92	760.0	14.69	15.0	59.0
10,000	20.58	522.6	10.11	-4.8	23.3
18,000	14.95	379.4	7.34	-20.7	-5.3 ¹
20,000	13.76	349.1	6.75	-24.6	-12.3
25,000	10.51	281.8	5.45	-34.5	-30.1
30,000	8.90	225.6	4.36	-44.4	-48.0
34,000	7.40	187.4	3.62	-52.4	-62.3 ²
35,332	6.80	175.9	3.41	-55.0	-67.0
40,000	5.56	140.7	2.72	-55.0	-67.0
43,000	4.43	119.0	2.30	-55.0	-67.0
48,000	3.79	96.0	1.86	-55.0	-67.0 ³
50,000	3.44	87.3	1.69	-55.0	-67.0
63,000	1.86	47.0	0.980	-55.0	-67.0 ⁴
80,000	0.882	20.8	—	-55.0	-67.0
100,000	0.326	8.0	—	-55.0	-67.0

1— $\frac{1}{2}$ atmosphere
2— $\frac{1}{4}$ atmosphere
3— $\frac{3}{4}$ atmosphere
4— $\frac{1}{8}$ atmosphere

Gambar 2.1 Nilai standar tekanan/temperature pada latitude (garis lintang) 40°, dengan temperatur 36°F (2°C)^{7,11}

Tekanan

Tekanan barometrik (atmosfer) adalah berat per unit area dari seluruh molekul gas tepat di titik dimana pengukuran itu dibuat. Oleh karena itu tekanan atmosfer akan menurun sebanding dengan ketinggian suatu tempat. Densitas memainkan perannya disini, semakin dekat udara dengan permukaan bumi berarti densitasnya semakin tinggi. Hal ini berarti semakin banyak molekul gas dalam suatu volume maka semakin besar tekanannya.

Berbagai variasi fisik akan mengubah tekanan barometrik, hal ini disebabkan oleh perubahan sekunder musim, perubahan iklim dan lokasi (berdasarkan garis lintang dan garis bujur). Oleh karena itu diperlukan suatu ukuran

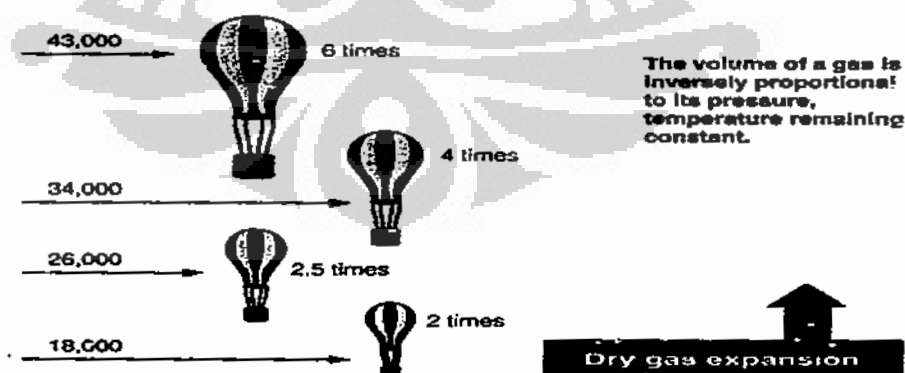
standar tekanan atmosfer, dan yang menjadi rujukan adalah *International standard atmosphere (ISA)*, yang menentukan tekanan rerata atmosfer adalah 29.92 inches air raksa (in. Hg), atau 760 milimeter air raksa (mm Hg) pada temperature 15°C udara kering di ketinggian permukaan laut. Untuk mengingat lebih mudah diambil patokan sebagai berikut di sea level (permukaan laut)/760 mmHg = 1 atmosfer, FL (Flight Level) 180 (18.000 kaki atau 5.486 m) = ½ atmosfer, FL 430 = ¼ atmosfer.

Dari sudut pandang fisiologis, standar fisiologis tekanan atmosfer yang dipakai adalah tekanan di *sea level*/permukaan laut dan perlu diketahui untuk pilot bahwa tekanan barometrik itu tidaklah konstan, karena ada kondisi tertentu yang mempengaruhinya. Untuk itu perlu diketahui hukum-hukum gas yang mempengaruhinya.

2.1.3 Hukum Gas^{7,10-12}

Hukum Boyle

Hukum ini menyatakan volume gas berbanding terbalik secara proporsional dengan tekanan (pada suhu yang tetap). Dan Hukum ini berlaku untuk semua jenis gas. $V_1/V_2 = P_2/P_1$, dimana V_1 adalah volume awal gas, V_2 adalah volume akhir gas, P_1 adalah tekanan awal pada gas dan P_2 tekanan akhir. Sehingga jika tekanan gas menurun maka volumenya akan meningkat dengan syarat temperaturnya harus konstan.



Gambar 2.2 Perbandingan volume dari udara kering saat ketinggian meningkat dan penurunan tekanan.

Berbicara mengenai gas yang ada di dalam tubuh, maka koreksi dibuat dengan memperhitungkan uap air yang ada, sehingga formulanya akan menjadi : $V_1/V_2 = (P_2 - P_{H_2O}) / (P_1 - P_{H_2O})$. Efeknya dapat terlihat pada gambar 2.3. Pada tubuh manusia terdapat cavitas / ruang yang berisi udara misalnya telinga tengah, rongga sinus, gaster dan saluran intestinal. Semua ini dapat berpotensi menjadi masalah, yang secara fisiologi dikenal sebagai "gas terperangkap (trapped gas)".

40,000 (12,192)	39,000 (11,887.2)	● 5 Vol	39,000 (11,887.2)	● 7 Vol
30,000 (9144)	28,000 (8534.4)	● 3 Vol	34,000 (10,363.2)	● 5 Vol
20,000 (6096)	18,000 (5486.4)	● 2 Vol	25,000 (7620)	● 3 Vol
10,000 (3048)			16,500 (5029.2)	● 2 Vol
		● 1 Vol		● 1 Vol
Pressure altitude in feet (meters)		Dry air expansion		Wet air expansion

Gambar 2.3 Efek udara kering dan basah pada ekspansi gas⁷

Hukum Charles

Hukum Charles menyatakan bahwa volume suatu gas akan berbanding lurus secara proporsional dengan temperature mutlak (K) (pada kondisi tekanan yang konstan). $V_1/V_2 = T_1/T_2$ Hukum ini berlaku untuk seluruh gas. Hukum ini tidak

secara langsung memiliki efek fisiologis terhadap tubuh sebab temperatur tubuh relatif konstan.

Hukum Guy Lussac

Hukum Guy Lussac menyatakan tekanan gas berbanding lurus secara proporsional dengan suhu gas. Dan Hukum ini berlaku untuk semua jenis gas. $P_1/T_1 = P_2/T_2$, dimana T_1 adalah temperatur awal gas, T_2 adalah temperatur akhir gas, P_1 adalah tekanan awal pada gas dan P_2 tekanan akhir. Sehingga jika tekanan gas menurun maka temperaturnya juga akan menurun dengan syarat volumenya harus konstan.

Hukum Gas Universal

Dengan mengkombinasikan hukum yang sudah dikemukakan diawal, maka dapat digambarkan dalam persamaan:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Dimana P, V, dan T merujuk ke gas, volume dan temperature (dalam satuan Kelvin).

Hukum Dalton

Atmosfer terdiri dari campuran berbagai gas, dan tiap gas tersebut memiliki tekanan tersendiri. Hukum Dalton menyatakan bahwa total tekanan gas campuran adalah penjumlahan dari tekanan parsial tiap gas yang memenuhi ruang volume tersebut atau secara matematis nya : $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$; dimana P_T adalah tekanan total dari campuran gas dan P adalah tekanan parsial tiap-tiap gas yang ditentukan dengan cara mengalikan persentase dari tiap gas terhadap tekanan total. Jadi tiap gas memiliki tekanannya sendiri. Misalnya oksigen dengan persentase di atmosfer adalah 21 persen tetap, tetapi tekanan parsialnya akan turun secara proporsional sesuai dengan penurunan tekanan barometrik (atmosfer).

Tubuh manusia akan berespon dengan tekanan gas yang ada, dengan kata lain ketika naik di suatu ketinggian, presentase dari tiap gas tetap sama, tetapi yang berkurang adalah jumlah molekul yang akan terpakai oleh tubuh, misalnya

berkurangnya tekanan parsial oksigen yang diperlukan untuk melintasi sel darah merah sehingga akan membawa akibat hipoksia.

Hukum Henry

Hukum Henry menyatakan bahwa jumlah gas yang larut (tetapi tidak mengalami ikatan kimia) akan berbanding lurus dengan tekanan parsial gas yang berada di atasnya. $P_1A_2 = P_2A_1$. Nilai A adalah jumlah gas yang larut dalam larutan, dengan kata lain ketika tekanan gas di atas permukaan larutan menurun maka jumlah gas yang terlarut dalam larutan juga akan berkurang.

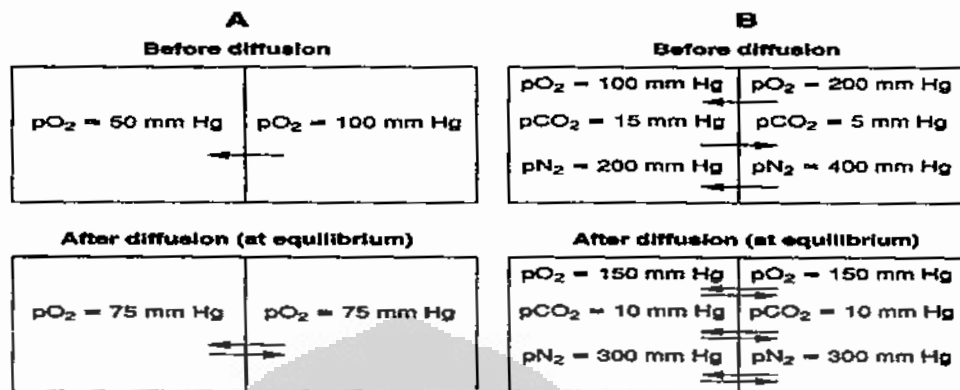


Gambar 2.4 Sejumlah gas yang terbentuk/tampak ketika tekanan dalam botol turun.⁷

Hukum Graham

Hukum Graham mengenai hukum difusi gas menyatakan bahwa gas dengan tekanan parsial yang lebih tinggi akan berdifusi melewati membran permeable atau semipermeable menuju ke daerah yang tekanannya rendah. Proses ini hanya terjadi dalam milidetik dan berlanjut hingga terjadi keseimbangan dalam hal tekanan parsial.

Misalnya, transfer gas oksigen yang melintasi pembuluh darah kapiler menuju ke sel yang berada didekatnya. Tiap gas secara bebas berdifusi, bahkan terkadang memiliki arah yang berbeda dengan gas yang lain sesuai dengan perbedaan tekanan parsialnya.



Gambar 2.5 Difusi gas melintasi membran dari tekanan parsial tinggi ke tekanan parsial rendah.⁷

Secara umum Hukum-hukum fisika gas yang berperan dalam lingkungan fisiologi penerbangan dapat dilihat pada gambar 2.6.

Gas law	Formula	Statement of law	Physiological significance
Boyle's	$P_1V_1 = P_2V_2$	Volume of gas is inversely proportional to its pressure (temperature constant).	Trapped gas in the body
Dalton's	$P_T = P_1 + P_2 \dots P_n$	Total pressure of a mixture of gases equals the sum of the partial pressure of each gas in the mixture.	Hypoxia
Henry's	$P_1A_2 = P_2A_1$	Amount of gas in solution is directly proportional to the partial pressure of that gas over the solution.	Evolved gas in the body
Charles'	$P_1T_2 = P_2T_1$	Volume of a gas is directly proportional to its temperature (pressure remaining constant)	Storage of oxygen in containers
Graham's law of gaseous diffusion		A gas will diffuse from an area of high concentration (or pressure) to an area of low concentration.	Transfer of gases in body (O_2 and CO_2)
P = Pressure V = Volume A = Amount T = Absolute temperature			

Gambar 2.6 Ulasan mengenai hukum gas yang digunakan dalam lingkungan fisiologi penerbangan^{7,13}

2.1.4 Pembagian Atmosfer^{7,9-12}

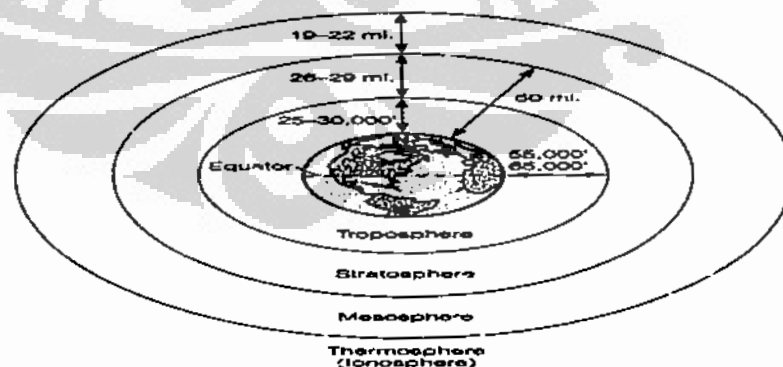
Atmosfer dibagi dalam beberapa lapisan yang mengelilingi bumi, gambarannya mirip dengan lapisan bawang. Lihat pada gambar 2.7. Istilah *sfere* menggambarkan lapisan aktual udara dan istilah *pause* menggambarkan batas terluar dari lapisan tersebut yang berbatasan dengan lapisan berikutnya. Densitas atmosfer akan semakin bertambah jika semakin rendah tempat tersebut.

Troposfer

Troposfer adalah lapisan atmosfer yang berada tepat dengan permukaan bumi dan karakteristiknya ditandai dengan adanya:

- Uap air (kelembaban) dan titik embun
- Penurunan yang konstan seiring dengan semakin di ketinggian
- Arus vertikal yang besar yang menjaga agar komponen gas di troposfer tetap tercampur dan hal ini juga menimbulkan turbulence.

Kecepatan penurunan temperature berkisar 3.6°F (2°C) per 1000 kaki (305 m), dan ketika sudah mencapai tropopause, temperature menjadi relatif konstan. Lapisan ini bisa mencapai ketinggian 30.000 kaki (9.144 m) pada daerah kutub, 60.000 kaki (18.288 m) di atas garis khatulistiwa. Hampir semua pesawat komersial terbang di lapisan troposfer.



Gambar 2.7 Pembagian atmosfer yang berlapis berdasarkan temperaturnya.⁷

Tropopause

Tropopause dipengaruhi oleh panas yang ada di troposfer dan lapisan ini sangat erat kaitannya dengan musim yang mempengaruhi permukaan bumi. Lebih banyak energi panas matahari yang diterima di bagian khatulistiwa dibandingkan dengan di daerah kutub. Lapisan ini berada diantara troposfer dan stratosfer yang memiliki temperature yang relative stabil.

Stratosfer

Stratosfer dikenal sebagai daerah yang hampir tidak diketemukan uap air dan memiliki temperature yang relatif konstan ($-69,7^{\circ}\text{F}$, $-56,5^{\circ}\text{C}$). lapisan ini bisa mencapai 46.000 kaki (14.021 m) diatas tropopause sehingga stratosfer memiliki ketinggian hingga 50 mil (80 km), terkadang lapisan ini dikenal sebagai mesospher. Lapisan teratas memiliki temperature yang meningkat kemudian turun hingga ke -162°F (-107°C). Stratopause adalah lapisan teratas stratosfer.

Ionosfer

Gas masih ada di lapisan ionosfer, lapisan yang berada di atas stratosfer ini merupakan lapisan gas yang dipenuhi dengan ion-ion akibat dari reaksi fotokimia dan fotoelektris yang berasal dari radiasi ultraviolet sinar matahari. Lapisan ini merupakan lapisan ozon yang melindungi bumi dari radiasi ultraviolet. Lapisan Ozone bertindak sebagai reflektor atas radiasi gelombang panjang electromagnetik

Eksosfer

Eksosfer merupakan lapisan atmosfer terluar, hubungan molekul-molekul gas tidak kontiyu lagi, gaya tarik antar molekul sangat lemah, sehingga terbentuk pulau-pulau udara yang satu sama lain dipisahkan oleh ruang hampa.

2.1.5 Pembagian Aspek Fisiologis Atmosfer^{7,11,13}

Selain pembagian atmosfer berdasarakan temperature dan tekanannya, maka atmosfer juga dapat dibagi menjadi zona yang memiliki efek fisiologis terhadap tubuh manusia. Berdasarakan sifat-sifat fisiologis atmosfer dibagi menjadi tiga daerah yaitu:

1. Daerah fisiologis (*physiological efficient zone*)

Daerah ini terbentang mulai dari permukaan bumi hingga ke ketinggian 10.000 kaki (3048 m). Di daerah ini manusia praktis tidak mengalami perubahan faal tubuh yang berarti, walaupun pada ketinggian 5000 kaki (1525 m) daya adaptasi gelap memanjang disertai gangguan penglihatan warna.

2. Daerah kurang fisiologis (*physiological defficient zone*)

Daerah ini memiliki risiko untuk terjadinya hipoksia, *trapped gas* (udara terperangkap) dan *evolved gas*. Daerah ini terbentang mulai ketinggian di atas 10.000 kaki – 50.000 kaki (3.048-15.240 m). Diatas dari ketinggian tersebut, manusia tak dapat hidup kecuali terdapat kabin/pakaian bertekanan beserta bantuan oksigen.

2.1.6 Efek General pada tubuh manusia.⁷

Mengenal dan memahami tentang bahaya risiko lingkungan di atmosfer sangat diperlukan oleh penerbang dalam melakukan tugasnya. Ear block dan hipoksia adalah masalah tersering yang ditemui, meski sangat jarang yang dilaporkan. Seringkali penerbang tidak menyadari masalah sederhana ini selama mereka merasa baik dan tak mencurigai apapun.

2.2 FISILOGI DI LINGKUNGAN KETINGGIAN

Hipoksia adalah kurang adekuatnya oksigen yang dibutuhkan dalam metabolisme tubuh. Kekurangan oksigen ini di tingkat sel dan jaringan. Kekurangan oksigen di tingkat sel ini bisa disebabkan karena kurangnya oksigen yang kita hirup. Hal ini juga dapat terjadi adanya interfensi daya pengangkutan oksigen hemoglobin oleh obat-obatan, alkohol, karbonmonoksida, merokok dll.

Beberapa *incident* dan *accident* yang terjadi karena ketidakmampuan penerbang dalam mendeteksi bahwa dirinya masuk ke dalam hipoksia ringan, bahkan meski hipoksia derajat sedang, sehingga terjadi penurunan *skill* (ketrampilan)/ pengambilan keputusan sehingga membuat penerbang mengalami *error* karena ketidakmampuan dalam memahami hipoksia. Untuk lebih memahami hipoksia secara mendalam maka diperlukan pemahaman tentang fisiologi oksigen di dalam tubuh.¹⁴

2.2.1 Fisiologi oksigen di tubuh manusia^{14,15}

Oksigen yang terdapat di sekitar kita dapat mencapai sel tubuh karena adanya hukum gas yang bekerja di tubuh, paru, sistem sirkulasi, darah dan hemoglobin. Adanya interupsi dari salah satu atau kombinasi dari hal tsb diatas maka akan menimbulkan hipoksia, dan tiap situasi tersebut memiliki nama tersendiri. Tekanan parsial oksigen di atmosfer akan menurun seiring dengan semakin tingginya daerah tsb, dan ini akan mengakibatkan rendahnya tekanan parsial di paru yang mempengaruhi proses difusi oksigen melintasi membran alveolar (Hukum gas Dalton dan Graham). Hemoglobin (Hb), merupakan transporter utama oksigen di dalam darah juga akan kurang adekuat dalam berikatan dengan oksigen apabila tekanan parsial menurun dan dapat pula terjadi hipoksia jika ketersediaan Hb di darah turun. Oksigen merupakan molekul yang secara biokimiawi berikatan dengan molekul hemoglobin, hal ini dipengaruhi oleh tekanan parsial oksigen (dan karbondioksida). Kurva disosiasi oksigen hemoglobin mengindikasikan kecepatan penurunan saturasi dan transfer ketika tekanan parsial oksigen turun dibawah 60 mmHg. Idealnya tekanan arterial berkisar 80-90 mmHg atau saturasi 87-97 persen.

Sel-sel di jaringan dapat tidak mampu menerima oksigen karena sel tersebut mengalami gangguan. Hal lain dapat juga terjadi misalnya aliran darah ke sel-sel jaringan berkurang jika sistem sirkulasinya mengalami pengurangan. Hal yang penting di sini adalah proses transport oksigen dan karbondioksida memberikan feedback signal ke otak yang mengatur seluruh sistem ditubuh .

2.2.2 Klasifikasi hipoksia^{14,16-19}

Apapun penyebab hipoksia, tanda dan efek dari hipoksia adalah pada dasarnya sama, yaitu menurunnya skill atau ketrampilan dari penerbang. Pada gambar 2.8 akan dijelaskan berbagai situasi yang menyebabkan hipoksia dan tipe hipoksia itu sendiri. **Hipoksik hipoksia (altitude hipoksia)^{14,20}**

Terminologi ini sering digunakan di ketika membicarakan hipoksia karena kurang tersedianya oksigen yang biasanya terjadi ketika sedang terbang di suatu ketinggian tanpa kabin bertekanan. Hal ini mengakibatkan tidak cukupnya oksigen yang dapat diambil oleh karena turunnya tekanan parsial oksigen meski kenyataannya bahwa presentase diatmosfer tetap sama. Tanda-tanda hipoksia belum akan tampak hingga jika ketinggian belum mencapai 5000 kaki (1.525) di malam hari.

Dari perspektif hukum gas, hipoksik hipoksia timbul jika tekanan parsial oksigen di atmosfer menurun menyebabkan tekanan parsial oksigen yang di paru terlalu rendah untuk transfer oksigen ke sel dan jaringan.

Phase of respiration	Condition	Specific cause	Type of hypoxia
Ventilation	Reduction in alveolar PO_2	Breathing air at reduced barometric pressure Strangulation/respiratory arrest/laryngospasm Severe asthma Breathholding Hypoventilation Breathing gas mixtures with insufficient PO_2 Malfunctioning oxygen equipment at altitude	Hypoxic hypoxia
	Reduction in gas exchange area	Pneumonia Drowning Atelectasis Emphysema (chronic lung disease) Pneumothorax Pulmonary embolism Congenital heart defects Physiologic shunting	Hypoxic hypoxia
Diffusion	Diffusion barriers	Hyaline membrane disease Pneumonia Drowning	Hypoxic hypoxia
Transportation	Reduction in oxygen-carrying capacity	Anemias Hemorrhage Hemoglobin abnormalities Drugs (sulfanilamides, nitrites) Chemicals (cyanide, carbon monoxide)	Hyperemic hypoxia
	Reduction in systemic blood flow	Heart failure Shock Continuous positive pressure breathing Acceleration (G forces) Pulmonary embolism	Stagnant hypoxia
	Reduction in regional or local blood flow	Extremes of environmental temperatures Postural changes (prolonged sitting, bed rest, or weightlessness) Tourniquets (restrictive clothing, straps, and so forth) Hyperventilation Embolism by clots or gas bubbles Cerebral vascular accidents (strokes)	Stagnant hypoxia
Utilization	Metabolic poisoning or dysfunction	Respiratory enzyme poisoning or degradation Carbon monoxide Cyanide Alcohol	Histotoxic hypoxia

Gambar 2.8 Tipe hipoksia dan penyebabnya.⁷

Hypemic (anemic) hipoksia^{14,16,18}

Terjadi karena adanya masalah dalam kemampuan darah untuk mengangkut molekul oksigen, meski terdapat cukup banyak oksigen di inspirasi, hal ini bisa terjadi oleh berbagai sebab.

Anemia, bisa terjadi oleh berbagai sebab (penyakit, kehilangan darah, deformitas sel darah dll), Hemoglobin secara fisik mampu mengikat 75 kali lebih banyak molekul oksigen dibanding jika hanya terlarut dalam larutan. Jika terdapat sesuatu yang mengganggu ikatan antara oksigen dengan hemoglobin misalnya karbon monoksida maka akan terjadi kompetisi dengan oksigen. Gas karbon monoksida memiliki kemampuan 250 kali lebih kuat terikat dengan hemoglobin dibandingkan dengan oksigen.

Stagnant hipoksia^{14,16,18}

Jika aliran darah mengalami sedikit hambatan oleh suatu sebab, maka oksigen yang menuju ke sel dan jaringan akan berkurang. Stagnant berarti berkurangnya aliran, dan hal ini bisa terjadi karena penurunan efektifitas pompa jantung, konstriksi dari arteri ataupun venous pooling akibat gaya gravitasi. Dalam dunia penerbangan kejadian stagnant hipoksia sering terjadi jika penerbang mengalami positive G maneuver.

Histotoksik hipoksia^{14,16,18,20}

Histotoksik berarti sel target yang membutuhkan oksigen menjadi abnormal atau tak mampu mengambil oksigen yang ada. Keadaan ini di sebabkan oleh adanya toxin yang diabsorpsi oleh sel. Sehingga meski oksigen yang diinspirasi itu mencukupi tetapi sel tidak dapat memakai/ menggunakan oksigen tersebut. Hal ini bisa terjadi ketika alkohol ada di dalam darah. Alkohol merupakan toxin bagi sel, hal yang sama juga terjadi pada golongan narkotik dan zat racun tertentu misalnya sianida.

2.2.3 Derajat Hipoksia^{14, 16,17,19}

Kekurangan oksigen (hipoksia) berakibat timbulnya berbagai simptom baik yang disadari maupun tak disadari. Simptom atau gejala tersebut dapat berdiri sendiri

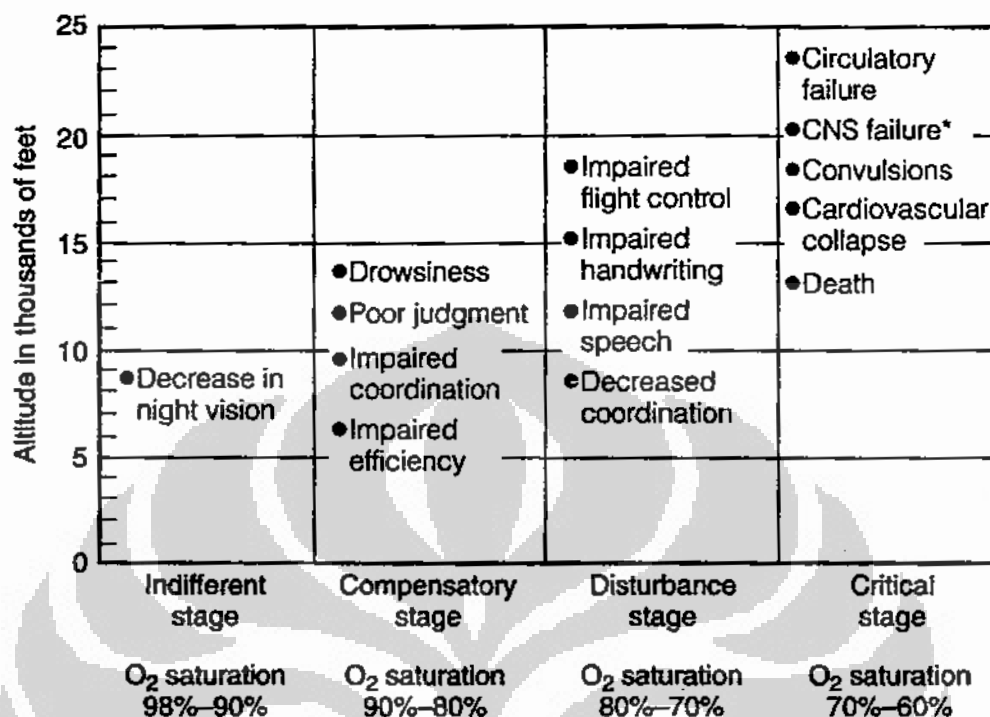
maupun gabungan berbagai gejala yang menentukan derajat inkapasitas. Bahaya hipoksia bagi seorang pilot adalah ketidaksadaran akan dirinya masuk ke dalam risiko hipoksia itu sendiri.

Maka kunci agar terbang dengan aman adalah mampu mengenali:

- Kondisi yang dapat menyebabkan hipoksia.
- Gejala fisik dan mental yang mengindikasikan masuk ke zona hipoksia.
- Teman /crew pesawat lain yang rentan terhadap hipoksia.

Sistem saraf merupakan jaringan yang sangat membutuhkan oksigen khususnya Otak (mata), banyak gejala hipoksia yang berefek langsung maupun tidak langsung terhadap sistem saraf manusia. Jika hipoksia berkepanjangan (tidak cepat teratasi) maka ini dapat mengakibatkan kematian. Lihat gambar 2.9 Dalam kondisi ekstrem (sebelum meninggal), sel-sel saraf pada umumnya mati, dan tidak dapat regenerasi lagi.

Karakteristik yang paling membahayakan dalam hipoksia di penerbangan adalah awak pesawat yang sedang mengalami hipoksia dan sedang asik dengan kesibukan terbangnya. Penerbang tidak mengenali gangguan tersebut, hanya melalui edukasi, kewaspadaan yang terus menerus, dan keterpaparan lingkungan hipoksia yang terkontrol yang bisa melewati risiko (hazard) ini.



*CNS—central nervous system

Gambar 2.9 Derajat hipoksia yang dihubungkan dengan level oksigen arterial¹⁴

Kejadian hipoksia sering berkembang secara bertahap, sehingga penerbang harus mampu mengenali tahap-tahapannya, dan selalu mengantisipasi apabila gejala awal itu sudah dirasakan. Semakin cepat diketahuinya gejala hipoksia yang dialami maka haruslah cepat langkah-langkah antisipasi dilakukan, hal ini untuk menghindari pilot masuk ke hipoksia yang lebih dalam dan tidak mampu mengambil keputusan yang benar.

Yang perlu diketahui bahwa memang altitude (ketinggian) merupakan kontributor terjadinya hipoksia, tetapi kesehatan (kondisi tubuh) penerbang itu sendiri sangat mempengaruhi toleransi, misalnya merokok, alkohol, stress akan menurunkan toleransi terhadap hipoksia. Kemudian hipoksia juga sangat sukar diprediksi sehingga jika penerbang minggu lalu misalnya tidak memiliki masalah di ketinggian 10.000 kaki (3.048 m) tidak berarti hari ini ia akan aman di ketinggian yang sama.

Stadium Indifferent

Salah satu gejala awal saat terjadinya hipoksia adalah muncul di organ penglihatan. Gangguan penglihatan, khususnya penglihatan malam hari, dan ini akan mengalami gangguan ketika di ketinggian minimal 5.000 kaki (1.525 m) . Ketika terbang pada malam hari , maka perlu diperhatikan bahwa penglihatan akan berkurang dayanya, misalnya di ketinggian 5.000 kaki (1.525 m) berkurang 5-10 persen, 10.000 kaki (3.048 m) berkurang 15-25 persen, dan 12.000 kaki (3.658 m) berkurang 25-30 persen.

Stadium Kompensasi

Pada stadium ini , tubuh akan sangat dipengaruhi baik disadari maupun tanpa disadari. Di tahapan ini sistem sirkulasi dan sistem respirasi memainkan perannya untuk melawan kondisi hipoksia. Terjadi peningkatan frekuensi denyut jantung dan peningkatan sirkulasi, dan pompa jantung menjadi semakin produktif. Selain itu respirasi (frekuensi napas dan kedalaman) ikut juga meningkat. Meski respon tubuh ini bersifat otomatis, bukan berarti tidak diperlukan secara sadar tindakan koreksi ketika penerbang mencurigai tubuhnya mengalami hipoksia.

Pada ketinggian 12.000 hingga 15.000 kaki (3.658 - 4.572 m) efek hipoksia terhadap sistem saraf mengalami peningkatan inkapasitas terutama jika kondisinya tidak menjalani aklimatisasi. Pada kondisi ketinggian yang tidak bersahabat ini (sekitar 10-15 menit) , gangguan skil/ketrampilan sangat terlibat jelas. Berbagai simptom berkembang dan menyebabkan gangguan yang berarti, misalnya mengantuk, pengambilan keputusan lambat/ngawur, dan seringkali error yang tidak disadari itu muncul dalam ketrampilan terbang. Lebih berbahaya lagi jika penerbang merasa baik-baik saja dan timbul perasaan senang (euphoria).

Karakteristik penting tentang hipoksia khususnya stadium ini adalah kemampuan pemulihan dan kompensasi, yang dikenali lewat adanya *deficit* oksigen yang terjadi sebelum kita sadar akan adanya masalah tersebut. Hal yang sama juga pasti terjadi pada awak pesawat yang lainnya, sehingga diperlukan saling monitoring antar awak pesawat. Jika dalam stadium ini , penerbang tidak merasakan hipoksia

tetapi sangat terganggu dan tidak mampu mengendalikan situasi dengan cara turun dari ketinggian, segera pasang masker oksigen atau umumkan kondisi darurat.

Stadium Disturbance (Gangguan)

Stadium ini terjadi dimana kondisi stadium sebelumnya menjadi bertambah parah karena kemampuan pemulihan tidak bisa berjalan. Gejala-gejalanya hipoksia menjadi bertambah parah, misalnya sakit kepala, hiperventilasi, gangguan penglihatan perifer, fatigue (kelelahan), mengantuk, dan euphoria. Saat ini kemungkinan kecil penerbang bisa mengetahui jika dirinya hipoksia berat, tetapi tidak peduli dan hanya sedikit kemauan untuk mengambil tindakan koreksi misalnya mengambil masker oksigen atau turun dari ketinggian.

Stadium Critical (Kritis)

Stadium ini adalah stadium dimana manusia sudah tidak sadar lagi. Kejadian ini bisa terjadi dalam 3-5 menit setelah kegagalan mengenali kondisi hipoksia (stadium kompensasi atau *disturbance*). Seseorang pingsan/ tidak sadarkan diri karena kegagalan dari sistem sirkulasi atau sesuatu yang lebih serius misalnya kegagalan sistem susunan saraf pusat. Kejang-kejang terjadi sesaat setelah masuk dalam stadium ini.

2.2.4 Simptom Hipoksia^{14,16,17,19}

Dalam bagian ini akan dijelaskan lebih terperinci symptom/ gejala yang dialami oleh penerbang ketika mengalami hipoksia :

- Perubahan penglihatan termasuk *tunnel vision*.
- Ketajaman penglihatan terganggu, gambaran menjadi kabur dan tidak dapat fokus.
- Kesulitan untuk akomodasi, dari penglihatan dekat ke jauh ataupun sebaliknya.
- Kelemahan dari otot-otot, atau sulit untuk mengubah posisi tempat duduk.
- Perasaan lelah dan *fatigue*, mengantuk tanpa sebab yang jelas.
- Indera perasa menjadi berkurang, dan kontrol menjadi terasa berbeda.

- Sensasi nyeri berkurang
- Nyeri kepala khususnya jika hipoksia lebih dari 2 jam.
- Perasaan melayang dan pusing yang sedang, reaksi untuk memutarakan badan berkurang.
- Perasaan geli di tangan dan jari tangan
- Koordinasi otot-otot berkurang, kurangnya kontrol.
- Bicara jadi gagap, kesukaran mengucapkan kata yang benar ke ATC (*Air Traffic Controller*).
- Cyanosis, bibir dan kuku kebiruan (perhatikan ke awak kru yang lain)
- Gangguan pengambilan keputusan, lambat berpikir dan melakukan hal yang bodoh.
- Kemampuan *self-criticism* (mawas diri) menghilang,
- *Over confidence* (percaya diri yang terlalu tinggi), mengambil risiko yang secara normal tidak akan diterima.
- Agressifitas yang berlebihan, terlalu menyerang ATC.
- Depresi, sedikit gangguan bisa menjadi masalah yang besar.
- Gangguan respirasi, bernapas lebih cepat dan dangkal.
- Waktu reaksi melambat, terasa kehilangan kendali.
- Menurunnya kemampuan untuk membedakan warna dan penglihatan malam (meski di ketinggian 5.000 kaki [1.525 m])
- *Euphoria* (perasaan gembira yang berlebihan) menjadi tidak peduli.

Semua symptom/gejala tersebut di atas sangatlah subyektif, semakin banyak gejala tidak berarti semakin hipoksia. Misalnya perubahan frekuensi jantung adalah bukti obyektif, tetapi ini juga dapat berubah jika mengalami stress, sedang latihan, atau yang lainnya, sehingga merasa diri masuk ke dalam kondisi hipoksia. Gejala yang sering terjadi adalah fatigue, tetapi sangatlah subyektif. Bagaimana menentukan fatigue akibat dari hipoksia, bisa jadi itu juga berasal dari kelelahan terbang yang lama.

Kondisi hipoksia sangat mudah dialami dan rentan bagi semua penerbang/ awak pesawat dan itu tidak terbatas waktu dan derajatnya. Hal yang tidak menguntungkan bahwa tubuh manusia tidak memiliki sistem peringatan terhadap awal terjadinya hipoksia. Hipoksia tidak menimbulkan rasa nyeri. Tiap penerbang dapat bereaksi secara berbeda terhadap derajat hipoksia yang sama dan pengalaman hipoksia tersebut bisa saja berbeda simptonnya dari yang lain meski dalam kondisi yang sama. Simptom hipoksia sangatlah individual dan ini bisa saja berubah sesuai dengan penambahan usia. Oleh karena inilah, penerbang militer di seluruh dunia diwajibkan mengalami kondisi hipoksianya sendiri sebelum mencapai stadium disturbance dan mengambil tindakan tepat untuk mengatasi kejadian tsb. Tidak ada kuliah atau bacaan yang bisa mempersiapkan diri untuk mendeteksi level inkapasitas hipoksia. Oleh karena itu sangat direkomendasikan untuk setiap penerbang dalam permulaan kariernya minimal satu kali untuk merasakan latihan *hipobarik chamber* (RUBR).

Kesimpulannya, tanda dan gejala hipoksia sangatlah banyak dan bervariasi dan berbeda dari satu individu ke individu lain serta tak dapat diprediksi di suatu waktu dan ketinggian.

2.2.5 Faktor yang Mempengaruhi Toleransi Hipoksia & Waktu Sadar efektif

14,16

Sangatlah sulit untuk memprediksikan kapan, dimana, dan bagaimana reaksi hipoksia itu terjadi pada individu. Sebab kerentanan terhadap defisiensi oksigen sangatlah besar variasinya. Kerentanan ini sangatlah berkaitan dengan banyak faktor yang sebenarnya bisa dikontrol oleh penerbang itu sendiri. Dengan kondisi kabin standar, maka yang mempengaruhi toleransi terhadap defisiensi oksigen adalah sebagai berikut.

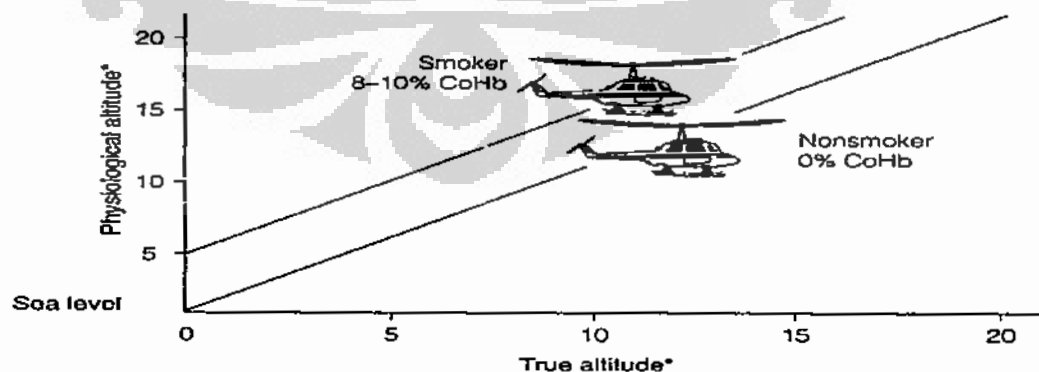
Self-imposed factor (*faktor penentu diri*).

Meski tekanan kabin di bawah 10.000 kaki (3.048 m) atau biasa dikenal dengan '*physiological altitude*' (ketinggian fisiologis), faktor ini meningkat peranannya di ketinggian fisiologis.

Alkohol di dalam tubuh dapat menyebabkan histotoksik hipoksia sebab alkohol merupakan racun bagi sel. Hal ini pernah diteliti bahwa 1 ounce alkohol sebanding dengan kondisi di ketinggian 2.000 kaki (610 m). Hal ini mengganggu uptake (pengambilan) oksigen untuk metabolisme sel dan ini juga bergantung dari jumlah toksin yang beredar di seluruh tubuh. Efek depresi alkohol terhadap perilaku dapat mengaburkan pengenalan pilot akan hipoksia yang terjadi pada dirinya, sehingga alkohol dapat menurunkan toleransi hipoksia.

Individu yang secara mental atau fisik mengalami *fatigue* akan menurunkan toleransi hipoksianya, sebab individu tsb sudah berada di batas performa minimal. Penerbang yang dalam kondisi *fatigue* akan sering beralasan bahwa kelelahannya bukan karena hipoksia dan tidak mempertimbangkan tindakan preventif.

Karbon monoksida yang terhirup saat merokok sebelum melaksanakan tugas penerbangannya merupakan hal yang berisiko besar. Sebab karbonmonoksida memiliki afinitas terhadap hemoglobin 210-250 kali lebih besar dari oksigen, sehingga menyebabkan kondisi hypemic hipoksia. Seperti halnya alkohol, juga pernah diobservasi bahwa merokok 3 batang rokok atau 20-30 batang dalam 24 jam sebelum terbang akan mensaturasi 8 – 10 persen hemoglobin di dalam tubuh. Sebagai tambahan, sekitar 20 persen dari perokok memiliki gangguan penglihatan malam meski di *sea level* (ketinggian permukaan laut). jika dikondisikan dalam kondisi fisiologis maka seperti di ketinggian 3.000-5.000 kaki (914 - 1525 m).



Gambar 2.10 Merokok akan meninggikan physiological altitude (*ketinggian dalam 1.000 kaki [3.048 m])¹⁴

Pilot yang memiliki bentuk tubuh yang proporsional (tidak *overweight*, terlatih dan terjaga dalam dietnya) memiliki sifat lebih toleran terhadap kondisi miskin oksigen. Simptom dan potensial inkapasitasi hipoksia tetaplah ada, tetapi penerbang tidaklah jatuh kedalam hipoksia yang dalam sebab ia dapat/ mampu mengenali hipoksia dan mengambil keputusan yang tepat dan menghindarinya sebelum risiko itu terjadi. Yang perlu diperhatikan disini bahwa tubuh yang sehat akan lebih efisien dalam menggunakan oksigen dan sehingga lebih sedikit oksigen yang dibutuhkan dalam metabolisme.

Faktor lain yang berefek pada hipoksia

Aklimatisasi

Orang yang tinggalnya di daerah ketinggian akan menjadi lebih toleran terhadap kondisi hipoksia jika dibandingkan dengan orang yang tinggalnya di daerah yang rendah. Sehingga pilot yang tinggalnya di daerah ketinggian akan lebih toleran dibanding pilot yang tinggalnya di daerah dataran rendah.

Absolute altitude (ketinggian absolut).

Semakin tinggi altitude kabin (meski bertekanan atau tidak), semakin tinggi risiko untuk terjadinya hipoksia. Dianjurkan kabin pesawat memiliki tekanan setara dengan ketinggian 8.000 kaki (2.438 m). Ketika tekanan parsial oksigen menurun seiring dengan semakin tinggi di ketinggian, maka pilot haruslah bersiap untuk untuk memenuhi kebutuhan oksigen tubuhnya.

Ketika ketinggian absolute mencapai level yang berbahaya, maka penerbang haruslah mempertimbangkan untuk menurunkan (*altitude*) ketinggian kabin. Semakin tinggi ketinggian absolute maka semakin tidak toleran terhadap hipoksia.

Kecepatan naik

Semakin cepat kecepatan naik maka semakin tidak efektif toleransi seseorang terhadap hipoksia. Seringkali hipoksia terjadi ketika pilot terlalu cepat naik di ketinggian karena kurangnya perhatian terhadap hipoksia.

Durasi keterpaparan

Berada di ketinggian 8.000 kaki (2.438 m) untuk beberapa jam lamanya tanpa oksigen akan berefek penurunan skil seperti di ketinggian 16.000 kaki (4.879 m) selama setengah jam. Simptom yang timbul sulit untuk diprediksi, tetapi semakin tinggi di ketinggian maka semakin singkat waktu keterpaparan untuk timbulnya gejala hipoksia.

Aktivitas fisik

Semakin tinggi aktivitas fisik maka semakin banyak oksigen yang dibutuhkan untuk menjalankan fungsi tubuh. Sebagai contoh menerbangkan pesawat dengan autopilot bukanlah suatu pekerjaan yang berat jika dibandingkan dengan menerbangkan pesawat dalam kondisi turbulent. Awak pesawat lain misalnya pramugari atau load master akan lebih tinggi aktifitas fisiknya, sehingga lebih rentan terhadap hipoksia.

***Ambient temperature* (temperatur lingkungan)**

Temperatur ekstrem di kokpit seperti pesawat ringan yang tidak memiliki kabin bertekanan akan berakibat tubuh kurang toleran terhadap kondisi hipoksia. Menggigil saat kedinginan atau kondisi panas berlebih akan membutuhkan banyak energy. Sirkulasi tubuh akan bekerja keras untuk menjaga temperature inti. Kondisi ini akan menurunkan kemampuan penerbang dan mentolerir kondisi hipoksia.

Waktu sadar efektif atau *Effective Performance Time (EPT)* atau *Time Useful Consciousness (TUC)*

Waktu sadar efektif adalah periode waktu yang dimulai dari saat penerbang kekurangan oksigen hingga saat ketika penerbang tsb tidak mampu untuk mengenal dan mengambil tindakan seperti mengambil masker oksigen atau menurunkan ketinggian pesawat. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa gejala utama hipoksia salah satunya euphoria maka seseorang melewati WSE maka ia akan tidak sadar akan masalah dan tidak mengambil tindakan koreksi. Kata kuncinya adalah efektif atau berguna (*usefull*), sehingga penerbang dapat saja sadar tetapi tidak mampu membuat keputusan yang efektif . lihat gambar 2.11.

Altitude		Effective performance time
(m)	(ft)	
5,486	18,000	20 to 30 minutes
6,706	22,000	10 minutes
7,620	25,000	3 to 5 minutes
8,534	28,000	2.5 to 3 minutes
9,144	30,000	1 to 2 minutes
10,668	35,000	0.5 to 1 minute
12,192	40,000	15 to 20 seconds
13,106	43,000	9 to 12 seconds
15,240	50,000	9 to 12 seconds

Gambar 2.11 WSE menurun seiring dengan ketinggian.

Waktu sadar efektif akan menurun seiring dengan semakin tingginya suatu tempat dan juga tergantung faktor toleransi yang sudah dijelaskan sebelumnya. WSE dapat menjadi sangat singkat ketika di ketinggian yang tidak pernah dialaminya dan semakin cepat terjadinya dekomresi di kabin maka WSE akan menjadi lebih pendek 1/3 hingga 1/2 nya.

Yang menjadi perhatian dan seringkali terjadi adalah dekomresi yang tidak disadari, dimana penerbang tidak sadar meningkatnya ketinggian kabin dan memendeknya WSE. Sebagai contoh, ketika terbang tanpa bantuan oksigen di ketinggian 18.000 kaki (5.486 m) maka WSE nya sekitar 25 menit. Penerbang tersebut akan sangat mudah masuk kedalam masalah jika ia sangat sibuk dan tidak memperhatikan waktunya dan mengantisipasi hipoksia.

2.2.6 Pencegahan Hipoksia^{16, 17}

Tidak ada tindakan pencegahan hipoksia selain menghindari risiko terjadinya hipoksia, yaitu dengan meningkatkan kewaspadaan ketika terbang di ketinggian diatas 5.000 kaki (1.525 m) (terutama malam hari). Manajemen preventif akan lebih bermanfaat ketimbang manajemen krisis. Dalam pencegahan hipoksia diperlukan langkah antisipasi agar hipoksia tidak terjadi. Jika penerbang seorang perokok, minum minuman keras dan berat badan berlebih maka akan lebih besar potensi risikonya dibandingkan dengan seorang penerbang yang fit (sehat).

2.2.7 Pengobatan Hipoksia ^{14,16,17}

Jika terdapat seorang awak pesawat yang dicurigai hipoksia, maka dengan segera gunakan 100 persen oksigen. Terlepas dari kejadian toksisitas oksigen, kita tidak dapat melukai seseorang dengan memberikan mereka oksigen. Jika hipoksia terjadi maka diperlukan tindakan koreksi yang segera, dan harus mengetahui penyebab dari kejadian ini. Jika masker oksigen tidak tersedia, maka kabin pesawat sesegera mungkin di buat di bawah level 10.000 kaki (3.048 m). Keadaan hipoksia dapat dijadikan alasan untuk mengumumkan kondisi emergensi ke ATC.

2.2.8 Hiperventilasi ^{14,16,21}

Hiperventilasi secara sederhana di definisikan sebagai frekuensi pernapasan yang terlalu cepat, sehingga Karbon dioksida turut dibuang secara berlebihan. Gejalanya jarang yang sampai terjadi inkapasitas komplit, tetapi dapat menjadi potensi gangguan yang serius dalam situasi penerbangan. Masalah ini dipicu oleh meningkatnya kecemasan dan meningkatnya frekuensi napas, dan hal ini bisa masuk ke dalam lingkaran setan.

Aktifitas pernapasan beraksi secara otomatis terhadap kondisi stress dan kecemasan, misalnya saat penerbangan mengalami suatu masalah, dan pilot bisa kehilangan kontrol, maka kemungkinannya bisa berawal dari terjadinya hiperventilasi.

Penyebab

Ketakutan, stress dan kecemasan dapat menyebabkan seseorang secara otomatis meningkat frekuensi napasnya. Jika dalam situasi hipoksia, maka tubuh akan bereaksi berusaha meningkatkan sirkulasi oksigen dalam tubuh dengan meningkatkan kecepatan frekuensi denyut jantung dan frekuensi napas. Hal ini akan membawa oksigen ke seluruh sel tubuh, tetapi ini menjadi kontra produktif manakala hiperventilasi muncul.

Simptom/ gejala

Gejala/symptom hiperventilasi menyerupai gejala yang ditimbulkan hipoksia, *decompression sickness*. Hiperventilasi juga mengalami sensasi geli di jari-jari tangan, kaki dan di sekitar bibir, spasme otot, sensasi panas dan dingin, gangguan penglihatan, pusing dan pada kasus yang berat dapat terjadi pingsan (tidak sadar).

Yang menjadi tantangan adalah melakukan diagnosis yang tepat berdasarkan symptom dan mengambil tindakan yang tepat. Misalnya hiperventilasi jarang terjadi perasaan nyeri, ataupun perasaan ingin pingsan; *Decompression sickness* sering menimbulkan nyeri. *Decompression sickness* sering asimetris (terbatas ada salah satu lengan atau kaki) dibanding dengan hiperventilasi biasanya simetris.

Jika dicurigai adanya hiperventilasi, maka diusahakan mengontrol kecepatan pernapasan secara sadar. Kecepatan frekuensi napas normal adalah 12- 16 kali per menit. Terkadang menggunakan metode kantung kertas (*paper bag method*) cukup membantu dalam mengatasi masalah ini. Bernapas dengan kantung akan melambatkan pembuangan karbondioksida dan menghirup kembali gas tersebut.

Sejak diketahuinya bahwa hiperventilasi dan hipoksia memiliki simtom yang sama dan hipoksia dapat juga menyebabkan hiperventilasi maka pengobatan awal adalah sama yaitu : oksigen. Aturan/ kaidah yang berlaku adalah segera pakaikan masker oksigen 100 persen dan buat orang tersebut melupakan masalahnya atau membuat ia sibuk sehingga terlepas dari kecemasannya.

Signs and symptoms	Hyperventilation	Hypoxia
Onset of symptoms	Gradual	Rapid (altitude-dependent)
Muscle activity	Spasm	Flaccid
Appearance	Pale, clammy	Cyanosis
Tetany	Present	Absent
Breathlessness	X	X
Dizziness	X	X
Dullness and drowsiness	X	X
Euphoria	X	X
Fatigue	X	X
Headache	X	X
Judgment poor	X	X
Lightheadedness	X	X
Memory faulty	X	X
Muscle incoordination	X	X
Numbness	X	X
Performance deterioration	X	X
Respiratory rate increased	X	X
Reaction time delayed	X	X
Tingling	X	X
Unconsciousness	X	X
Vision blurred	X	X

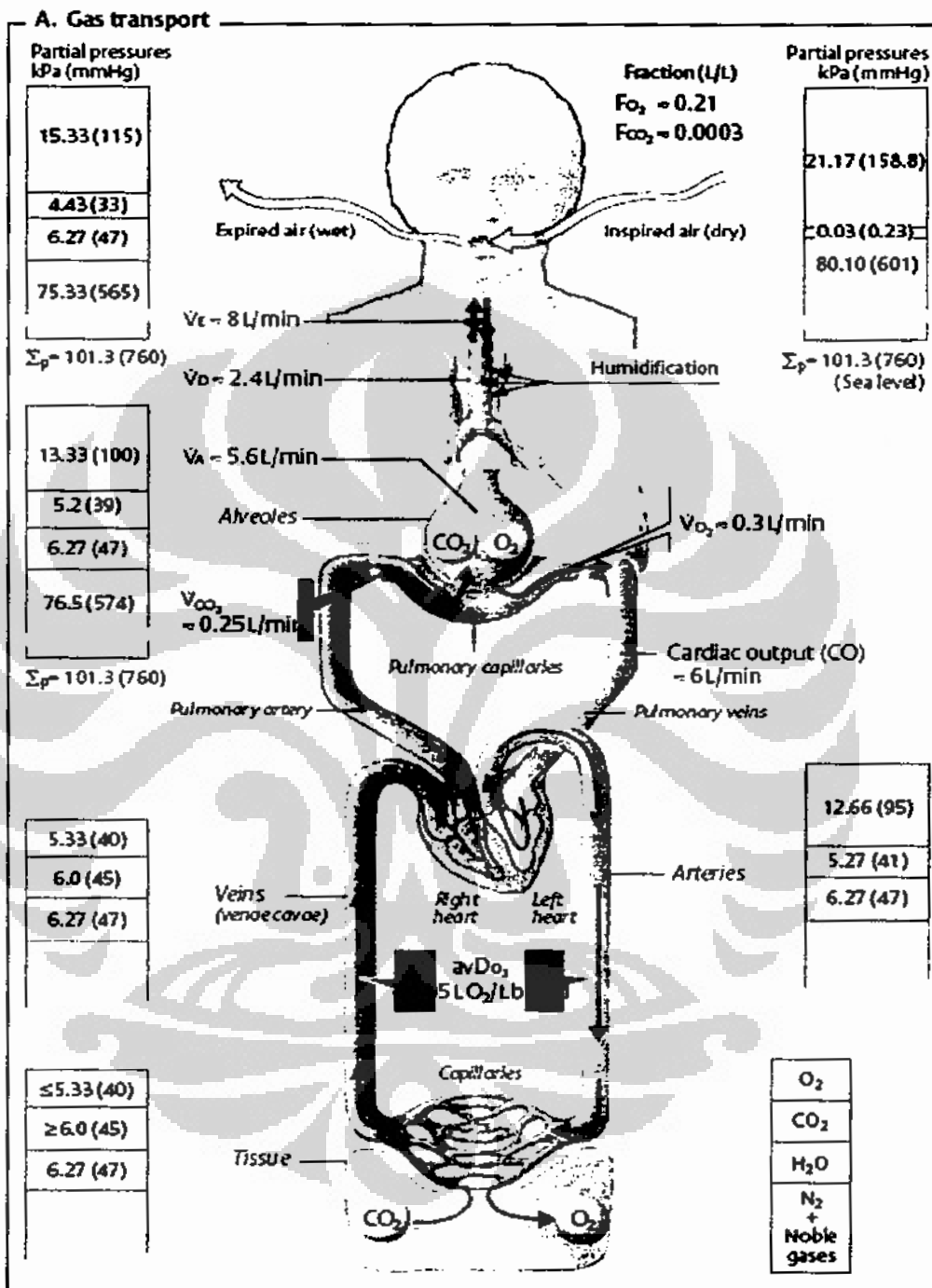
Gambar 2.12 Perbandingan antara hipoksia dan hiperventilasi. ¹⁴

2.3 FAKTOR-FAKTOR FISILOGIS YANG BERHUBUNGAN DENGAN KEJADIAN HIPOKSIA

2.3.1 FVC & FEV₁/FVC

2.3.1.1 Faal Pernapasan ²¹⁻²³

Fungsi utama dari sistem pernapasan adalah mengambil oksigen dari lingkungan udara luar dan mengirimnya ke sel-sel tubuh, serta mengeluarkan karbondioksida sebagai hasil dari metabolisme sel jaringan. Pertukaran gas oksigen dan karbondioksida terjadi di paru-paru melalui ekspirasi dan inspirasi. Agar dapat terjadi proses pertukaran gas tersebut, maka tekanan parsial oksigen dalam alveoli harus lebih tinggi daripada tekanan oksigen dalam vena, dan oksigen dapat dikirim ke sel-sel jaringan melalui kapiler paru.



Gambar 2. 13 Proses Transportasi Gas dalam Tubuh Manusia.²⁴

Sebaliknya tekanan karbondioksida dalam alveoli harus lebih rendah daripada tekanan karbondioksida jaringan. Akan tetapi jumlah kedua gas yang diangkut tidak akan mencukupi apabila oksigen tidak terikat oleh hemoglobin, dan karbondioksida tidak larut dalam reaksi kimia. Ikatan oksihemoglobin akan menaikkan kapasitas angkut oksigen dalam darah sampai 70 kali lipat dan senyawa karbondioksida menaikkan kapasitas angkut karbondioksida dalam darah sampai 17 kali.

Fungsi lain dari sistem pernapasan adalah menjaga keseimbangan asam dan basa. Dalam tubuh penginggian karbondioksida mengakibatkan peninggian konsentrasi ion hydrogen dan sebaliknya karena reaksi sebagai berikut:



Fungsi keseimbangan asam basa dilakukan dengan mengeluarkan karbondioksida dari tubuh. Susunan saraf pusat mempunyai sensor untuk kadar karbondioksida dalam darah arteri dan di dalam cairan serebrospinal yang mengirim informasi untuk mengontrol pernapasan.

Fungsi lain dari sistem pernapasan adalah untuk fonasi suara dan mekanisme pertahanan tubuh terhadap mikro organism seperti bakteri dan zat-zat polusi.

Pernafasan dapat dibagi menjadi dua proses:

1. Pernapasan luar

Meliputi ventilasi paru-paru selama inspirasi dan ekspirasi serta pertukaran gas melalui membran paru-paru (alveoli dan kapiler) ke dalam aliran darah.

2. Pernapasan dalam

Meliputi pengangkutan gas-gas dari dan ke jaringan tubuh oleh darah, dan reaksi kimia di dalam sel jaringan (oksigen yang menghasilkan energy untuk kegiatan hidup. Proses transportasi gas dari paru ke jaringan dan sebaliknya tergantung dari kemampuan sistem kardiovaskuler beserta unsur-unsur darah. Pertukaran gas-gas antara dara dan jaringan antara lain dipengaruhi oleh pH dan keracunan CO.

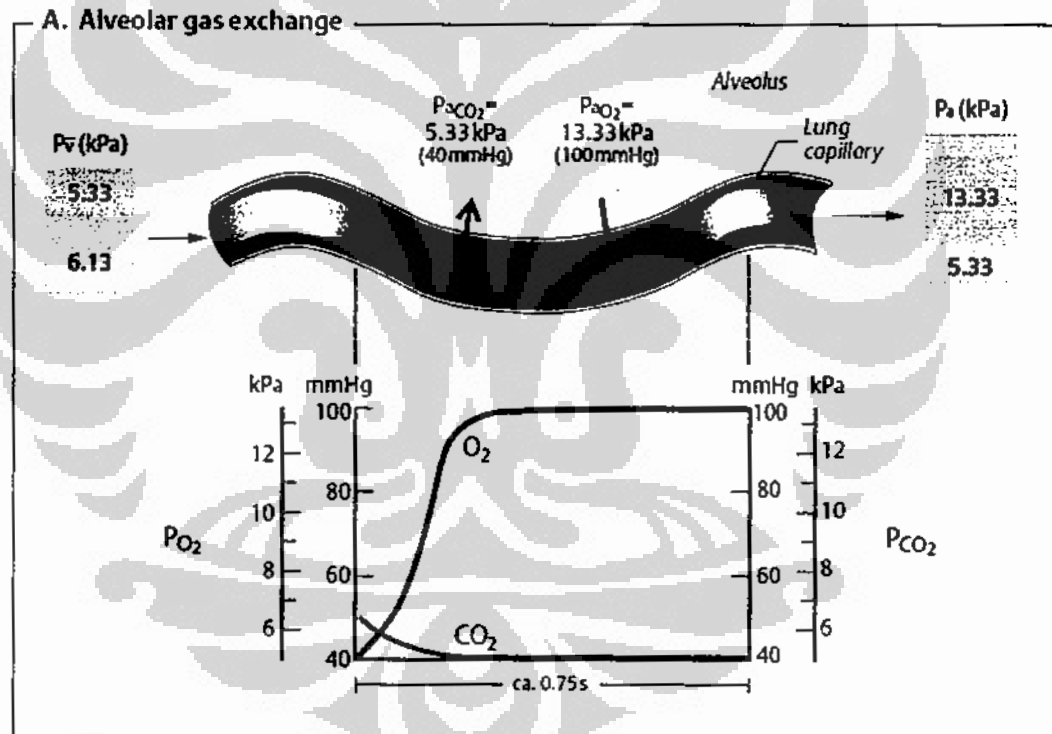
Mekanisme utama yang menyebabkan pertukaran gas di paru-paru meliputi ventilasi, difusi, perfusi (aliran dalam dalam kapiler paru-paru) dan faktor mekanik. Ventilasi adalah proses inspirasi dan ekspirasi sehingga udara bersih masuk ke dalam alveoli dengan volume yang hampir sama dengan udara yang dikeluarkan dari paru-paru. Untuk ventilasi yang efisiensi sejumlah besar udara inspirasi harus mencapai alveoli tiap menitnya, kemudian udara ini harus segera didistribusikan. Distribusi ini tidak harus sama di seluruh paru, karena perubahan bentuk dan berbagai kelainan paru. Pada orang dewasa/ normal setiap menit terjadi 12- 18 kali inspirasi dan ekspirasi, sehingga ventilasi semenit berkisar antara 5 -8 liter.

Volume total gas pada saat ekspirasi persatuan waktu disebut *pulmonary ventilation*, yang sering disebut *minute volume* (volume ekspirasi per menit). Karena ventilasi paru adalah hasil perkalian dari volume tidal dan frekuensi pernapasan, maka keduanya mempunyai pengaruh terhadap peninggian ventilasi paru.

Gangguan ventilasi terdiri dari gangguan restriksi dan obstruksi. Gangguan restriksi berarti ada keterbatasan pengembangan paru karena berbagai kelainan yang terdapat di dalam paru, tulang dada, otot pernapasan, diafragma, pleura dan mediastinum. Hal ini dapat diketahui secara tidak langsung dengan mengukur FVC. Gangguan obstruksi adalah gangguan yang menyebabkan perlambatan aliran udara ekspirasi yang terjadi pada berbagai penyakit seperti asma bronkiale, bronchitis kronis, emfisema, obstruksi oleh tumor dan benda asing. Gangguan obstruksi dapat diketahui melalui pengukuran FEV_1 . Kedua gangguan ini dapat diketahui dengan pemeriksaan spirometri, dengan mengukur volume gas. Volume gas seseorang tergantung dari usia, sex dan ukuran tubuh.

Gas bergerak melalui membran kapiler alveoli diantara alveoli dan kapiler darah paru dengan cara difusi pasif, sesuai dengan hukum Fick. Arah dan kecepatan dari difusi gas, ditentukan oleh arah dan besarnya perbedaan antara tekanan parsial gas di dalam alveoli dan tekanan parsial gas di dalam darah. Perbedaan tekanan ini bertambah besar pada ujung arteri kapiler. Pada keadaan istirahat setiap sel darah merah memerlukan waktu $\frac{3}{4}$ detik untuk bergerak melalui kapiler, sedangkan pada aktifitas berat waktu ini menjadi $\frac{1}{4}$ detik. Proses yang terlibat dalam pengambilan

oksigen oleh darah dalam kapiler paru adalah difusi melalui membrane kapiler alveoli dan plasma darah ke dalam sel darah merah, serta ikatan oksigen dengan hemoglobin untuk membentuk oksihemoglobin. Pada keadaan istirahat bila individu bernapas dengan udara permukaan bumi, perbedaan tekanan parsial oksigen dalam campuran darah vena dan gas alveoli adalah 60 mmHg, sehingga oksigen masuk dengan cepat ke dalam darah. Kandungan oksigen dan juga tekanan parsial dalam darah meningkat dengan cepat, sehingga setelah 0,2- 0,25 detik tekanan oksigen dalam darah dan tekanan oksigen alveoli hampir sama. Jadi, tidak ada perbedaan yang signifikan antara tekanan oksigen alveoli dan tekanan oksigen pada ujung kapiler darah.



Gambar 2. 14 . Pertukaran Gas dalam Tubuh.²⁴

Kemampuan karbon dioksida berdifusi melewati dinding alveoli adalah 20 kali lebih besar dari pada kemampuan oksigen. Agar pertukaran gas alveoli dan kapiler adekuat, maka sirkulasi harus adekuat dan harus didistribusikan dengan cepat ke alveoli yang melakukan ventilasi. Faktor mekanik pada pemompaan darah sangat

penting pada proses ini. Pada berbagai tingkat penyakit, aliran darah melalui paru dapat bervariasi sekali. Perfusi yang tidak merata pada aliran darah paru menjadi lebih berat bila distribusi ventilasi tidak merata pula. Faktor mekanik, pengambilan oksigen dan pelepasan karbon dioksida, melibatkan penggunaan tenaga dari otot-otot pernapasan untuk menjamin ventilasi yang adekuat.

2.3.1.2 Volume dan Kapasitas paru^{21-23,25,26}

Volume paru meliputi *tidal volume*, *inspiratory reserve volume*, *expiratory reserve volume* dan *residual volume*. Kapasitas paru meliputi *vital capacity*, *functional residual capacity*, *inspiratory capacity* dan *total lung capacity*.

Tidal volume

Merupakan volume udara yang masuk ke dalam paru pada setiap kali inspirasi atau dikeluarkan pada setiap kali ekspirasi. Tidal volume ditentukan oleh aktifitas pusat kontrol pernapasan dalam otak yang mempengaruhi otot-otot pernapasan, dan mekanisme paru dan rongga dada. Dalam keadaan normal tidal volume pada seorang dewasa dengan berat 70 kg adalah 500 ml, tetapi volume ini dapat sangat meningkat, misalnya pada aktifitas latihan.

Inspiratory reserve volume

Volume udara yang dihirup selama inspirasi paksa maksimal yang dimulai pada akhir inspirasi normal, besarnya 2,5 liter. Volume ini ditentukan oleh kekuatan kontraksi otot-otot inspirasi, mekanisme paru dan rongga dada.

Expiratory reserve volume

Volume udara yang dapat dikeluarkan selama ekspirasi paksa maksimal yang dimulai pada akhir dari ekspirasi normal, besarnya 1,5 liter.

Residual Volume

Volume sisa udara dalam paru sesudah ekspirasi paksa maksimal disebut residual volume, besarnya 1,5 liter. Volume ini dapat bertambah besar pada penyakit emfisema. Volume ini penting pada orang sehat untuk mencegah terjadinya kolaps paru.

Vital Capacity

Merupakan jumlah udara yang dapat dikeluarkan selama eskpirasi paksa maksimal yang dimulai setelah inspirasi paksa maksimal, sebesar 4,5 l. Vital capacity atau force vital capacity sama dengan total lung capacity dikurangi residual volume, dan sama dengan jumlah dari *tidal volume*, *inspiratory* serta *ekspiratory reserve volume*. Sebagian dari vital capacity yang dikeluarkan pada detik pertama disebut *force ekspiratory volume in one second*. Nilai *vital capacity* digunakan dalam klinik untuk mengukur fungsi paru.

Functional Residual Capacity

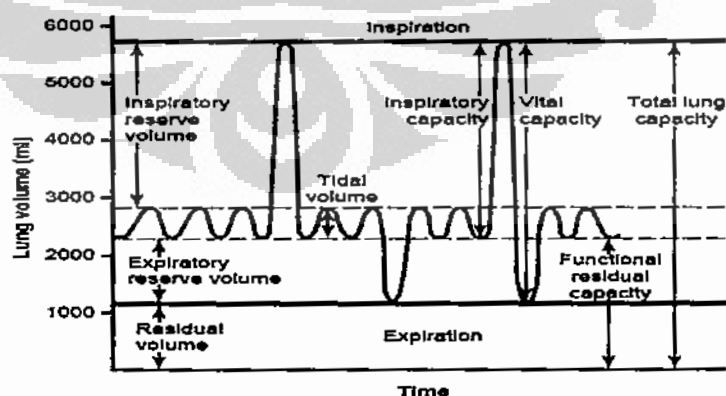
Adalah volume udara yang tetap tinggal dalam paru-paru pada akhir eskpirasi normal, merupakan jumlah *residual volume* dan *ekspiratory reserve volume*, besarnya 3.l

Inspiratory Capacity

Volume udara yang dihirup paru-paru selama inspirasi maksimal yang dimulai pada akhir suatu eskpirasi normal, besarnya 3 l. Merupakan jumlah dari tidal volume dan inspirasi reserve volume.

Total Lung Capacity

Volume udara dalam paru sesudah inspirasi maksimal, adalah jumlah dari *residual volume*, *tidal volume*, *inspiratory reserve volume* dan *ekspiratory reserve volume*, besarnya 6 l.

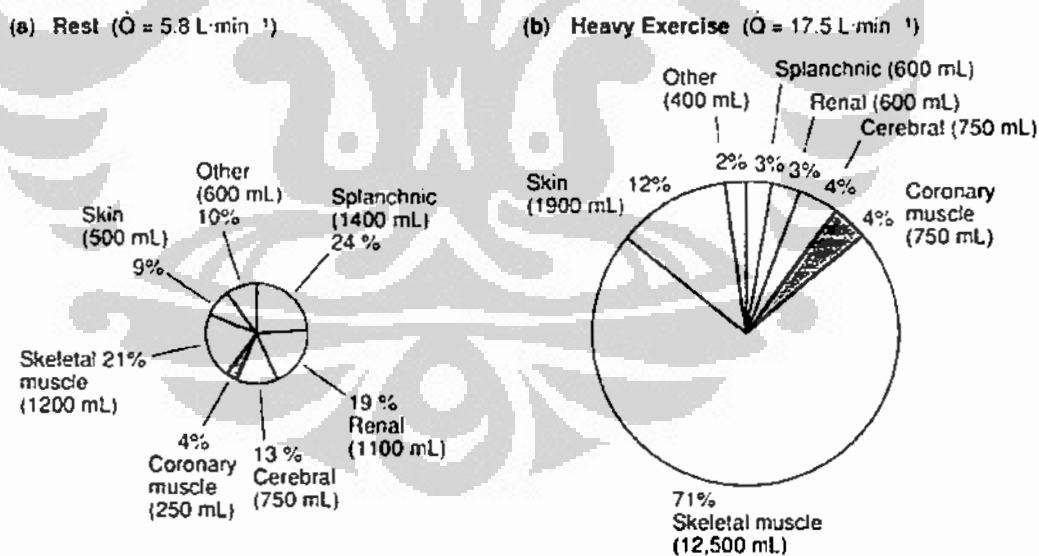


Gambar 2.15 Gambar Volume Paru saat inspirasi dan ekspirasi ²⁶

Kebutuhan oksigen di jaringan tubuh ^{27,28}

Banyaknya oksigen yang dibutuhkan tergantung dari macam jaringan dan kegiatan. Sebagai contoh jaringan otak yang beratnya sekitar 2% dari berat badan, pada saat istirahat membutuhkan oksigen 3,5 ml/100 gr/ menit. Jaringan otot yang memiliki berat sebesar 40 % dari berat badan membutuhkan 0,2 ml/100 gr/ menit pada saat istirahat dan menjadi 11 ml / 100 gr/ menit pada saat kerja keras. Pada kegiatan sedang seluruh kebutuhan oksigen naik menjadi dua kali lipat dari saat istirahat yaitu menjadi 500 ml/menit.

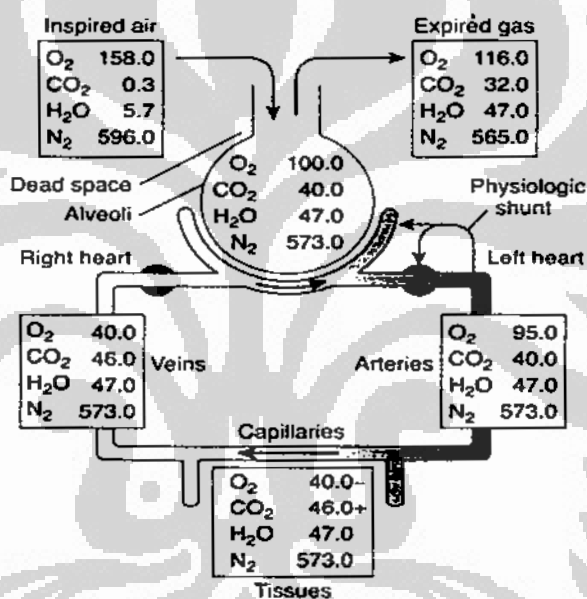
Kebutuhan oksigen pada suhu lingkungan yang normal berbanding lurus dengan luas Permukaan tubuh. Rata-rata kebutuhan oksigen basal pada pria dewasa muda adalah 1.331 (STPD)/menit/m² permukaan tubuh. Seorang pria dengan berat badan 70 kg dan tinggi badan 180 cm, luas permukaan tubuh 1,9 m² mempunyai kebutuhan oksigen basal sebesar 253 ml/menit. Kebutuhan oksigen sangat ditentukan oleh kegiatan fisik.



Gambar. 2.17 Distribusi *cardiac output* saat istirahat dan latihan berat ²⁸

Pertukaran gas antara darah dan jaringan

Oksigen yang dibutuhkan untuk metabolisme dibawa ke jaringan oleh aliran darah melalui kapiler. Aliran darah ini juga mengeluarkan karbondioksida yang dihasilkan oleh metabolisme jaringan. Pertukaran antara oksigen dan karbondioksida dalam darah dan jaringan terjadi secara fisik melalui difusi. Molekul-molekul gas bergerak melalui dinding kapiler darah dan sel jaringan karena adanya perbedaan konsentrasi (hukum Fick).



Gambar 2. 18 tekanan parsial gas di sistem pernapasan dan cardiovascular ²¹

Kecepatan difusi gas antara darah dan jaringan adalah sebanding dengan perbedaan konsentrasi (tekanan parsial) gas di dua tempat dan berbanding terbalik dengan jarak antara dua tempat (darah dan jaringan) tersebut. Karena daya larut karbondioksida dalam jaringan jauh lebih besar, maka karbondioksida berdifusi 20 kali lebih cepat daripada oksigen. Jadi pemindahan karbondioksida ke dalam darah dari jaringan tidaklah menjadi masalah dibandingkan dengan pengangkutan oksigen untuk metabolisme jaringan. Penurunan tekanan oksigen darah, peningkatan konsumsi oksigen atau bertambah besarnya jarak antara dua kapiler mengakibatkan

penurunan tekanan dari oksigen. Apabila tekanan oksigen turun sampai batas minimum maka metabolisme dalam jaringan akan terjadi secara aerob dengan pembentukan asam laktat.

Penurunan tekanan oksigen darah saat mengalir melalui kapiler ditentukan oleh kandungan oksigen darah arteri, pemakaian oksigen, serta hubungan antara tekanan oksigen dan kandungan oksigen dalam darah. Penurunan kandungan oksigen dalam darah tergantung dari kecepatan aliran darah dan pemakaian oksigen jaringan:

$$(\text{Arteri} - \text{Vena}) \text{ kandungan oksigen darah} = \frac{\text{Besarnya pemakaian Oksigen}}{\text{Kecepatan aliran darah}}$$

Transportasi Oksigen²⁸⁻³¹

Sebagian besar oksigen diangkut oleh darah secara kimia dalam bentuk ikatan dengan hemoglobin, dan sebagian kecil secara fisik larut dalam plasma. Pada temperature 37° C, 1 ml plasma mengandung 0.00003 ml oksigen/ mmHg PO₂, sehingga pada tekanan 100 mmHg PO₂ darah mengandung 0.0003 ml oksigen/ml atau 0.3 ml oksigen/ 100 ml darah. Volume darah adalah sekitar 5 liter, maka 15 ml oksigen diangkut dalam cairan plasma, yang hanya cukup untuk bertahan hidup selama 4 detik. Walaupun demikian oksigen dalam bentuk solut ini penting untuk mempertahankan fungsi fisiologis, dengan mempertahankan PO₂ darah dan jaringan. Selain itu memegang peranan dalam mengatur pernapasan dan menentukan pelepasan oksigen dari hemoglobin di dalam paru dan jaringan.

Secara kimia oksigen membentuk ikatan dengan hemoglobin, yang merupakan reaksi reversibel dengan kecepatan kurang dari 0.01 detik. Bila hemoglobin 100% tersaturasi, 1 gram Hb yang normal mengandung 1,39 ml oksigen, tetapi biasanya darah yang normal mengandung derivative hemoglobin yang tidak aktif (atom besi dalam bentuk ferri atau hemoglobin terikat oleh CO) dalam jumlah kecil, sehingga nilainya in vivo biasanya lebih rendah, yaitu 1,34 ml oksigen. Konsentrasi darah normal sekitar 15 gram/dl mengandung 20.1 ml oksigen. In vivo, hemoglobin di dalam darah pada ujung kapiler paru tersaturasi 97% dengan

oksigen 75% dan kandungan oksigen sekitar 15.2 ml/dl. Jadi, pada keadaan istirahat jaringan memindahkan sekitar 4,6 ml oksigen dari setiap desiliter darah yang melewatinya. Perbedaan kandungan oksigen darah arteri dan campuran darah vena disebut *arteriovenous oxygen difference* yang besarnya pada keadaan normal/istirahat adalah 4-5 ml oksigen per 100 ml darah. Dengan demikian, dalam keadaan istirahat 250 ml oksigen per menit diangkut oleh darah ke jaringan-jaringan. Reaksi antara hemoglobin dan oksigen secara konvensional :

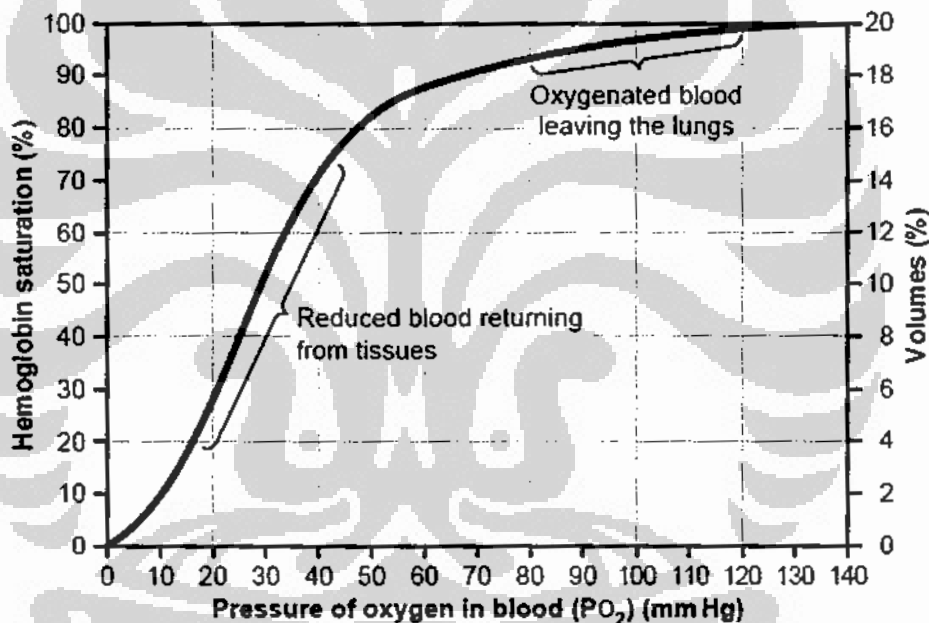


Keseimbangan reaksi ini tergantung dari jumlah oksigen dan hemoglobin dalam darah, sehingga tekanan parsial oksigen dalam darah menentukan jumlah oksigen yang berikatan dengan hemoglobin. Menurut hukum kekekalan massa, jika konsentrasi suatu substansi pada reaksi reversibel meningkat, reaksi tersebut berjalan ke arah yang berlawanan. Maka peningkatan tekanan parsial oksigen darah akan mendorong reaksi ke arah yang berlawanan. Maka peningkatan tekanan parsial oksigen darah akan mendorong reaksi ke arah kanan, sehingga pembentukan oksihemoglobin akan meningkat. Sebaliknya penurunan tekanan parsial oksigen darah (misalnya di kapiler sistemik) akan menyebabkan reaksi bergeser ke kiri, berarti oksigen dilepaskan dari hemoglobin.

2.3.2 Hemoglobin²⁸⁻³¹

Hemoglobin merupakan protein dengan berat molekul 64.450, terbentuk dari 4 sub unit. Setiap sub unit mengandung sebuah heme yang berikatan dengan satu polipeptida. Heme sendiri adalah derivatif dari porfirin yang mengandung logam besi. Gabungan dari polipeptida membentuk bagian globin dari molekul hemoglobin. Setiap molekul hemoglobin mengandung 2 pasang polipeptida, setiap 2 sub unit mengandung satu jenis polipeptida. Pada hemoglobin orang dewasa (HbA), polipeptidanya terdiri dari rantai α yang mengandung 141 asam amino dan rantai β yang mengandung 146 asam amino. Jadi biasanya hemoglobin ditulis dalam bentuk $\alpha_2\beta_2$. Tetapi tidak semua hemoglobin orang dewasa merupakan HbA, kurang lebih 2,5 % merupakan HbA₂ dimana rantai β digantikan oleh rantai δ yang 10 asam aminonya berbeda dengan asam amino rantai β . Sejumlah kecil derivatif

Bagian kurva yang datar terletak pada kisaran tekanan parsial oksigen 60-100 mmHg, dimana peningkatan atau penurunan tekanan parsial oksigen darah hampir tidak mempengaruhi kemampuan hemoglobin mengikat oksigen. Sebaliknya, pada kisaran tekanan parsial oksigen 0-60 mmHg, perubahan kecil pada tekanan parsial oksigen memberi dampak yang cukup besar terhadap kemampuan hemoglobin untuk mengikat oksigen. Bagian kurva yang datar maupun yang curam memiliki makna fisiologis yang penting.



Gambar 2.19 Kurva Dissosiasi Oksigen-Hemoglobin³²

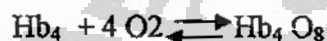
Darah yang meninggalkan paru mempunyai tekanan parsial oksigen sekitar 100 mmHg. Pada kurva disosiasi oksihemoglobin tampak bahwa pada tekanan tersebut saturasi oksihemoglobin mencapai 97,5% (hampir tersaturasi penuh). Jika terjadi penurunan tekanan parsial sebesar 40% ($PO_2 = 60$ mmHg), kadar oksigen masih sekitar 87%, sehingga kandungan oksigen total hanya sedikit menurun.

hemoglobin yang erat hubungannya dengan HbA adalah HbA₁₀ yang mempunyai glukosa pada ujung salin dalam setiap rantai β. Jenis hemoglobin ini meningkat jumlahnya pada penderita Diabetes Melitus yang kurang terkontrol.

Pengangkutan oksigen di dalam tubuh diatur oleh sistem pernapasan dan sistem kardiovaskuler. Pengangkutan oksigen ke jaringan tergantung dari beberapa hal, yaitu jumlah oksigen yang masuk ke dalam paru, pertukaran gas yang adekuat, aliran darah ke jaringan dan kapasitas angkut hemoglobin darah untuk membawa oksigen. Jumlah kandungan oksigen dalam darah ditentukan oleh besarnya jumlah oksigen yang larut, kadar hemoglobin di dalam darah serta daya ikat hemoglobin terhadap oksigen. Hemoglobin berikatan dengan oksigen dalam bentuk oksihemoglobin, oksigen terikat pada atom fero dalam protein heme. Dari seluruh oksigen, 99 % berikatan secara kimia dengan protein hemoglobin. Hal ini dimungkinkan oleh keberadaan hemoglobin, dan mengakibatkan kapasitas angkut oksigen di dalam darah meningkat 70 kali lipat. Daya afinitas hemoglobin terhadap oksigen dipengaruhi oleh pH, suhu, dan kadar 2,3 DPG dalam sel darah merah.

Kurva disosiasi oksihemoglobin

Hubungan antara tekanan parsial oksigen dan % saturasi oksigen terhadap Hb digambarkan dalam bentuk grafik, sebagai kurva disosiasi oksihemoglobin yang berbentuk sigmoid. Bentuk sigmoid ini terjadi karena Hb dan oksigen bereaksi secara bertahap dimana 1 sub unit Hb berakasi dengan satu molekul O₂ :



Tiap tahapan reaksi akan memfasilitasi tahapan berikutnya, sehingga afinitas hemoglobin terhadap oksigen makin meningkat. Kombinasi heme yang pertama di dalam Hb dengan oksigen akan meningkatkan daya afinitas dari heme yang kedua, dan oksigen kedua ini akan meningkatkan afinitas heme yang ketiga dan selanjutnya, sehingga afinitas heme yang keempat dengan oksigen menjadi lebih kuat lagi. Bentuk kurva disosiasi oksihemoglobin yang mendatar pada tekanan parsial oksigen yang tinggi, disebabkan oleh afinitas yang sangat meningkat pada reaksi ke empat ini.

Bagian yang mendatar dari kurva ini merupakan daerah aman karena darah tersaturasi dengan oksigen secara adekuat.

Bagian curam kurva disosiasi oksihemoglobin sesuai dengan keadaan di kapiler pembuluh sistemik jaringan. Tekanan parsial oksigen di kapiler sistemik sekitar 40 mmHg, kemampuan hemoglobin mengikat oksigen hanya 75% sehingga 25% oksihemoglobin berdisosiasi menjadi hemoglobin dan oksigen yang dibebaskan tersebut akan diambil oleh jaringan untuk kebutuhan metabolismenya. Bagian yang curam dari kurva (PO_2 antar 40 – 55 mmHg) memperlihatkan bahwa selama darah melewati kapiler paru, tekanan oksigen tidak akan berubah sampai dipindahkan kedalam darah. Jadi, perbedaan tekanan oksigen yang besar akan membantu difusi oksigen ke dalam darah.

Bentuk kurva disosiasi oksihemoglobin mendaki secara tajam pada O_2 yang rendah (0-60 mmHg). Perubahan tekanan parsial oksigen sebesar 10 mmHg (90-100 mmHg) hanya akan meninggikan saturasi sebesar 1% sedangkan perubahan yang sama besarnya dari 35-45 mmHg akan meninggikan saturasi sebesar 14%. Perubahan bentuk kurva disosiasi oksihemoglobin dapat dinyatakan dengan perubahan nilai P_{50} . P_{50} adalah nilai tekanan parsial oksigen yang menunjukkan bahwa 50% hemoglobin di darah berada dalam bentuk oksihemoglobin, dan 50% sisanya dalam bentuk deoksihemoglobin. Hemoglobin akan 50% tersaturasi oleh oksigen pada tekanan oksigen 26 mmHg.

Pengaruh suhu, pH, tekanan CO_2 dan 2,3-DPG

Pada saat masuk ke jaringan dengan aktifitas metabolisme, darah terpajan pada lingkungan yang berbeda dengan lingkungan arteri. Tekanan karbondioksida menjadi meningkat, pH menjadi menurun dan suhu juga menjadi lebih tinggi dari suhu darah arteri. Karena pH yang rendah, tekanan karbondioksida yang tinggi dan suhu yang tinggi, kurva disosiasi hemoglobin bergerak ke kanan, sehingga membantu lepasnya oksigen dari hemoglobin ke dalam jaringan. Di pihak lain, saat darah vena kembali ke paru-paru dan karbondioksida meninggalkan darah (yang menyebabkan peninggian pH), afinitas ikatan oksihemoglobin menjadi meningkat dan kurva bergerak kembali ke kiri. Pengaruh pH tekanan karbondioksida dan suhu

menjadi lebih nyata pada tekanan oksigen ke jaringan daripada proses masuknya oksigen ke dalam paru.

2,3-DPG yang diproduksi oleh eritrosit dalam proses glikolisis anerob terdapat dalam konsentrasi yang cukup tinggi di dalam sel darah merah pada keadaan normal (15 mol/gram Hb). Peninggian konsentrasi 2,3 - DPG menyebabkan kurva disosiasi oksihemoglobin bergerak ke kanan, sehingga memudahkan lepasnya oksigen dari hemoglobin. Bila darah kekurangan 2,3-DPG maka kurva bergerak ke kiri, dan lepasnya oksigen dari ikatan hemoglobin sangat sedikit, kecuali bila tekanan PO_2 sangat rendah.

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi transportasi oksigen

Anemia . Sebagian besar bentuk anemia tidak mempengaruhi kurva disosiasi oksihemoglobin bila asosiasi antara oksigen dan Hb dinyatakan dalam bentuk % saturasi. Sebagai contoh, anemia yang disebabkan oleh perdarahan tidak mempengaruhi ikatan antara oksigen dan hemoglobin dalam eritrosit yang tersisa. Yang menurun adalah jumlah dari hemoglobin, bukan % saturasi ataupun tekanan oksigen arteri. Kandungan oksigen darah (ml/100 ml darah) menurun, karena penurunan jumlah hemoglobin/ 100 ml darah mengakibatkan penurunan kapasitas angkut oksigen dari darah.

Karbon monoksida. Karbon monoksida mempunyai daya ikat yang lebih besar terhadap hemoglobin dari oksigen, sehingga ikatan oksigen dan hemoglobin terhambat. Efek lainnya menyebabkan kurva disosiasi hemoglobin bergerak ke kiri. Jadi karbon monoksida mencegah pemuatan oksigen ke dalam darah paru dan juga mencegah pemindahan oksigen ke jaringan. Bahaya karbon monoksida terutama disebabkan oleh efek kumulatifnya, sifatnya yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak mempunyai rasa dan tidak menimbulkan reflek batuk atau bersin maupun perasaan sulit bernafas.

Varian hemoglobin . selain hemoglobin A pada orang dewasa normal, terdapat \pm 25 varian hemoglobin lain yang mempunyai afinitas berbeda terhadap oksigen. Misalnya fetal hemoglobin (HbF) dalam sel darah merah menyebabkan kurva

dissosiasi oksihemoglobin bergerak ke kiri, karena tekanan oksigen pada bayi lebih rendah dari pada tekanan oksigen orang dewasa.

Myoglobin. Myoglobin adalah suatu protein darah yang terdapat dalam keadaan normal di dalam sel tot, terdiri dari rantai tunggal polipeptida yang terikat pada darah. Secara kimia ia dapat berikatan dengan satu molekul oksigen. Pada tekanan oksigen yang rendah, lebih banyak oksigen yang tetap terikat pada myoglobin. Sehingga myoglobin bertindak sebagai tempat penyimpanan dan transportasi oksigen dalam otot skelet.

2.3.3 $VO_2 \max$ ³³⁻³⁶

Kesamaptan jasmani dan daya tahan kardiorespirasi

Kesamaptan jasmani seseorang mencerminkan kemampuan paru, jantung dan pembuluh darahnya dalam mendayagunakan oksigen secara efisien. Pengukuran $VO_2 \max$ merupakan cara yang cukup akurat dan obyektif untuk mengukur tingkat kesamaptan dan daya tahan kardiorespirasi. $VO_2 \max$ adalah ambilan oksigen maksimum dalam millimeter, dalam satu satuan menit perkilogram berat badan Untuk mengukur $VO_2 \max$ maks dipakai cara yang non invasive melakukan uji latihan dengan cara Cooper dengan menggunakan rumus :

$$(\text{Jarak dalam Meter} - 504.9) \div 44.73$$

Atau dapat pula di pakai kalkulator yang sudah di set dalam table excel (gbr 2.20)

Cooper Test $VO_2 \max$ Calculator

Total distances covered was metres

Estimate of $VO_2 \max$ is ml/s/kg/min



Gambar 2.20 Kalkulator Cooper test untuk menghitung $VO_2 \max$ ³⁶

Cooper telah mengembangkan tes lari selama 12 menit di tahun 1968 untuk keperluan US army dan melaporkan bahwa jarak yang dapat dicapai oleh individu tersebut dan dicocokkan dengan table yang dibuat, hasilnya akurat dan dapat dipakai untuk menilai kesamaptaan jasmani (fitness).

Denyut jantung maksimal dan intensitas kerja mempunyai korelasi linear, sehingga dengan mengetahui denyut jantung maksimal, maka dapat diketahui pula beban kerja yang maksimal. Pada populasi normal rata-rata denyut jantung maksimal kira-kira sama dengan (220-umur dalam tahun) kali permenit.

VO₂ max terendah pada orang normal yang tidak terlatih adalah 1 liter/menit atau 16,9 ml/menit/kg berat badan. Pada dewasa muda yang tidak terlatih besarnya 2,5 l menit atau 36,7 ml/mnt/kg berat badan. Untuk mengevaluasi VO₂ max pada orang dewasa dipakai skala sebagai berikut: sangat baik bila VO₂ max 50 ml/mnt/kg berat badan atau lebih; lebih baik bila 44 ml/mnt/ kg berat badan, baik apabila 36/ml/kg berat badan, cukup bila 34 ml/mnt/kg berat badan dan buruk bila VO₂ max kurang dari 30 ml/mnt/kg berat badan.

VO₂ max dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain, keturunan, usia, jenis kelamin, komposisi tubuh dan intensitas latihan serta ketinggian. VO₂ max meningkat selama usia pertumbuhan dan mencapai puncak usia antar 18-25 tahun, kemudian kembali menurun walaupun tetap ditentukan oleh aktivitas fisik. Nilai VO₂ maks pada pria 15-30 % lebih tinggi dari pada wanita, yang disebabkan karena perbedaan komposisi tubuh dan kadar hemoglobinnya. Komposisi tubuh pria relative mempunyai masa otot yang lebih banyak dan lemak yang lebih sedikit dari pada wanita. Perbaikan kapasitas aerobik dengan melakukan latihan meninggikan VO₂ max sebesar 6-20%, melalui perbaikan sistem kardiovaskuler, seperti denyut jantung, volume sekuncup dan curah jantung.

VO₂ max memperlihatkan penurunan secara linear dengan bertambahnya ketinggian. Setiap pertambahan 305 m (1000 kaki) diatas ketinggian 5000 kaki (1.525 m), terjadi penurunan VO₂ max sekitar 1,5 -3,5 %. Pada ketinggian 20.500 kaki (6248 m) VO₂ max menjadi 0,5 dari permukaan laut. Penurunan VO₂ max di

ketinggian pada individu yang terlatih maupun individu yang tidak terlatih adalah sama.

2.3.4 Umur³⁷

Proses Aging (penuaan) Sistem Kardiovaskular

Proses penuaan yang terjadi di sistem kardiovaskular sangatlah beragam dan kompleks. Perubahan terjadi pada tingkat struktural/fungsional begitu pula ditingkat seluler/molekuler. Jantung akan menjadi lebih hipertropi dan hiperresponsif terhadap stimulus simpatis (tidak pada parasimpatis), pada latihan terjadi peningkatan frekuensi denyut jantung dan kontraktilitas miokard yang tumpul (*blunted*). Aorta dan arteri besar mengalami elongasi dan kekakuan disertai peningkatan denyut jantung dan terdapat disfungsi endothelial sehingga mengakibatkan atherosclerosis.

Baroreflex arterial mengalami perubahan sesuai dengan usia dimana baroreseptor di jantung akan lebih mengalami gangguan lebih berarti jika dibandingkan dengan kontrol baroreseptor di resistensi perifer. Belum ada bukti yang meyakinkan yang memperlihatkan gangguan di afferent, sentral neural, efferent, dan organ efektor. Untuk jelasnya di table 2.1 akan di perlihatkan berbagai perubahan yang terjadi pada jantung akibat proses aging. Perlu ditegaskan di sini bahwa semua perubahan fungsi tidak menyebabkan pada kegagalan sistem ataupun timbulnya simptom (gejala).

Proses Aging (penuaan) sistem pulmonar

Proses aging di paru sangat mirip dengan proses yang terjadi di emphysema yaitu ada perubahan di jaringan paru misalnya, kekakuan di dinding dada, kehilangan kekuatan dari otot-otot pernapasan, penurunan space (ruang) antar intervertebral dan penurunan elastisitas *recoil* jaringan paru. Perubahan ini akan menurunkan volume paru dan kecepatan *flow* yang mempengaruhi nilai force expiratory volume (FEV1) dan *forced vital capacity (FVC)*. Kemudian tekanan Parsial O₂ menurun secara progresif dan linear dari 95 Torr saat usia 20 tahun menjadi 75 torr di usia 70 tahun. *Alveolar dead space* meningkat seiring dengan kapasitas difusi paru yang menurun berkisar 20% dibanding saat usia muda.

Table 2.1 Proses penuaan pada sistem kardiovaskuler³⁷

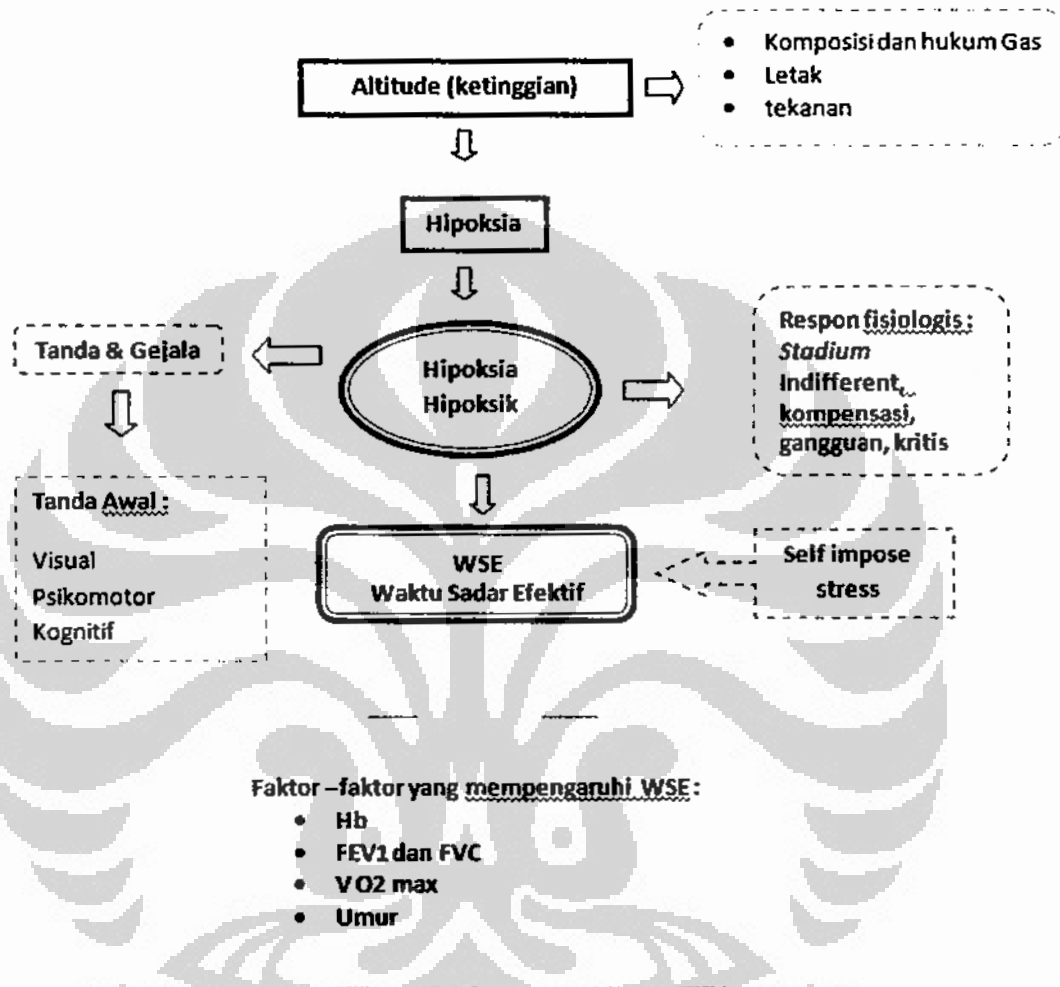
Structural/functional level
<i>Systolic function</i>
1. No change in maximum capacity of the coronary flow bed
2. Moderate left ventricular hypertrophy
3. Maintenance of ability to generate wall tension
4. Decreased velocity of myocardial shortening
5. Increased myocardial stiffness
6. Prolonged duration of (systolic) contraction
7. Increased left ventricular cavity diameter
8. No change in stroke volumes, heart rate, cardiac output, or ejection fraction at rest
9. Greater use of the Frank–Starling mechanism
10. Decline in maximum heart rate and maximum oxygen uptake with exercise
11. Increased ventricular stiffness
12. Decreased ventricular relaxation
<i>Diastolic function</i>
1. Delayed relaxation
2. Diastolic peak filling rate decreases with age
3. Decreased peak velocity of early filling while atrial fraction increase with age
4. Ratio of early peak to atrial peak (E/A ratio) flow velocity decrease with age
<i>Arterial function</i>
1. Increased arterial stiffness
2. Decreased endothelial function
3. Increased blood pressure
<i>Molecular/cellular level</i>
1. Increased catecholamine levels
2. Decrease in β -adrenoceptor-mediated responses
3. Preservation of β -adrenoceptor number/density but decreased sensitivity
4. Maintenance of peak amplitude of force generation
5. Increased duration of the myoplasmic calcium transient during excitation-contraction coupling (in rats)
6. Prolongation of the ventricular transmembrane action potential (in rats)
7. Cell dropout and compensatory cellular hypertrophy

Respon ventilasi terhadap hipoksia dan hiperkapnia juga menurun seiring dengan usia. Kemampuan/ performa yang dapat diindikasikan lewat Vo_2 max juga menurun sekitar 35% di usia 20 hingga 70 tahun. Duktus alveolar juga membesar seiring dengan menurunnya surface area. Kesimpulannya, berbagai perubahan yang terjadi di sistem pulmonary bisa dilihat di table 2.2

Table 2.2 Proses penuaan pada sistem pernapasan.³⁷

Pulmonary system
1. Decreased FEV1 and FVC
2. Increased residual volume
3. Cough less effective
4. Ciliary action less effective
5. Ventilation–perfusion mismatching causes PaO_2 to decrease with age
6. Trachea and central airways increase in diameter
7. Decreased lung mass
8. Decreased respiratory muscle strength
9. Diffusion of carbon monoxide decreased
10. Maximal inspiratory and expiratory pressures decrease
11. Chest wall stiffens

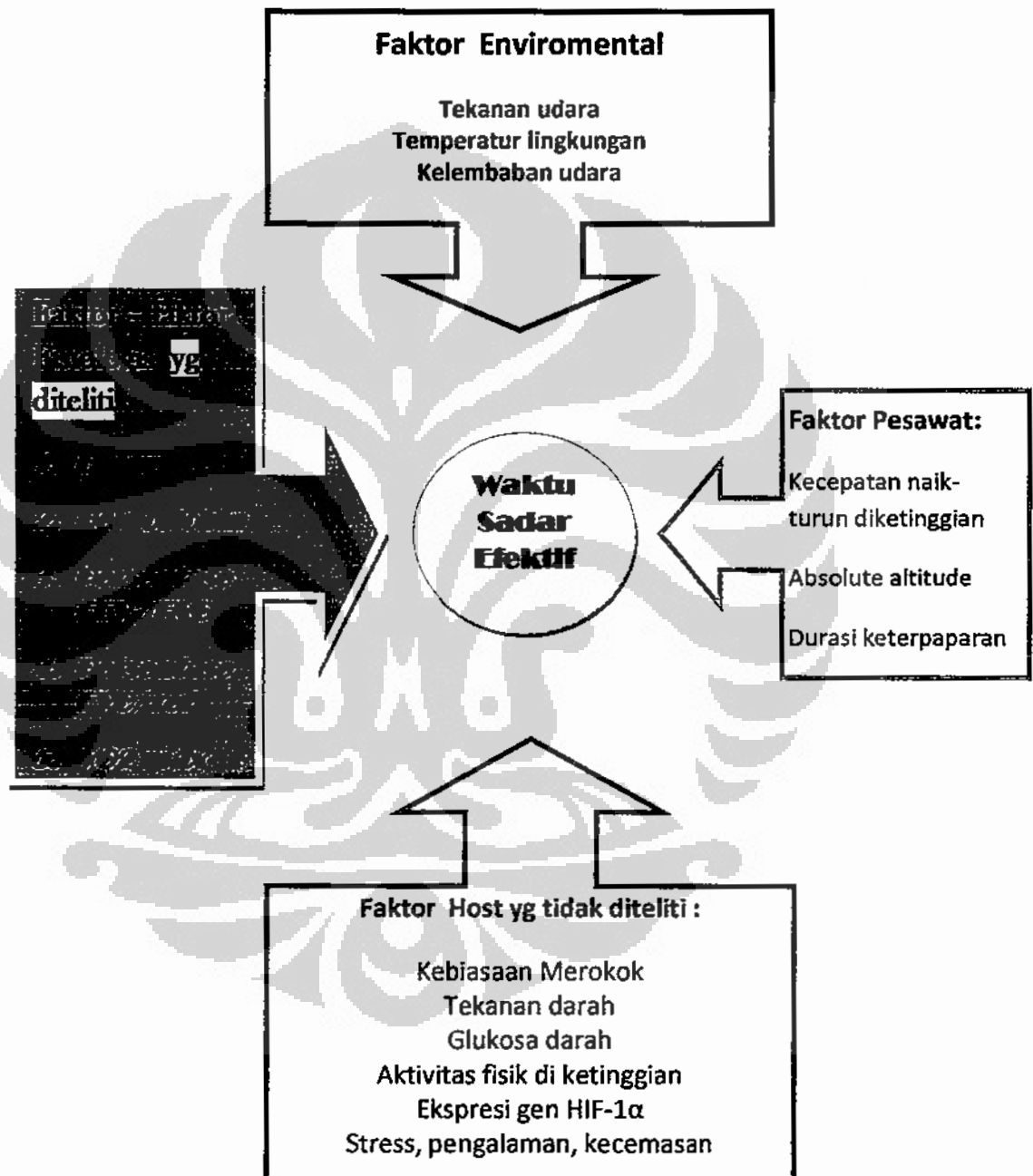
2.5 KERANGKA TEORI



Gambar. 2.21 Kerangka Teori yang menunjukkan berbagai hubungan yang mempengaruhi Hipoksia dan waktu sadar efektif.²⁰

Sumber : di modifikasi dari Brock Jeff, Rod Bencke , Hipoxia In : Flight safety Australia , July 1998. p. 17-20

2.6 KERANGKA KONSEP



BAB 3 METODE

3.1 DESAIN PENELITIAN

Penelitian ini memakai desain uji klinis/eksperimental tanpa pembandingan, untuk mengetahui korelasi berbagai faktor terhadap waktu sadar efektif. Sebagaimana diketahui bahwa faktor-faktor yang akan diteliti adalah : Hb, umur, FVC, FEV1/FVC, dan VO₂max. Dari berbagai faktor tsb dilakukan analisis multivariat untuk mempelajari korelasi antar beberapa faktor dengan waktu sadar efektif.

3.2 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Lembaga Kesehatan Penerbangan dan Antariksa (LAKESPRA) Saryanto TNI AU November 2009. Di pilihnya tempat ini juga berdasarkan atas kerjasama antara Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia dan Lembaga Kesehatan Penerbangan dan Antariksa (LAKESPRA) Saryanto yang dituangkan dalam MOU (Memorandum of Understanding).

3.3 POPULASI

Populasi target penelitian : adalah awak pesawat yang melingkupi dari ketiga Angkatan : TNI AU, TNI AD, TNI AL.

Populasi terjangkau penelitian : Penerbang laki-laki TNI AU yang melakukan pemeriksaan kesehatan berkala dan ILA (Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi) di Lembaga Kesehatan Penerbangan dan Antariksa (LAKESPRA) Saryanto. Pengambilan sampel dilakukan secara total sampling selama rentang waktu yang ditetapkan pada populasi yang memenuhi kriteria inklusi.

3.4 KRITERIA INKLUSI DAN EKSKLUSI

Kriteria inklusi

Subjek yang akan digunakan sebagai sampel untuk penelitian memenuhi kriteria sebagai berikut :

Penerbang (korps PNB) TNI AU laki-laki yg mengikuti latihan aerofisiologi dan Pemeriksaan kesehatan berkala serta tes kesamaptaan.

Kriteria eksklusi

Subjek yang tidak dapat diikutsertakan dalam penelitian ini setelah lolos dari syarat kriteria inklusi adalah sebagai berikut:

Peserta yang mengalami barotitis atau mengalami nyeri pada rongga sinus setelah dilakukan terbang di hipobarik chamber dengan profil sinus check.

Peserta yang pada hari pelaksanaan latihan di hipobarik chamber (RUBT) menderita penyakit infeksi saluran napas dan THT.

3.5 BESAR SAMPEL^{38,39}

Jumlah sampel dalam penelitian ini adalah minimal 25 dan maksimal 250 , dengan menggunakan (*rule of thumb*) kaidah jumlah $N= 5$ sampai dengan 50 dikalikan dengan variable bebas yang diteliti, yang pada penelitian ini memiliki variable bebas 5 (Hb, VO_2 max , umur, FVC, FVC/FEV_1) , maka besar sampel adalah 25-250 . Kemudian merujuk ke table besar sampel untuk analisis regresi linier dengan $\alpha = 5\%$ dan $\beta = 20\%$ dengan *R square* = 0,25 maka besar sample adalah 45. Sehingga penelitian ini mengikutkan 45 orang partisipan.

3.6 CARA PENGAMBILAN SAMPEL

Pengambilan sampel dilakukan secara pengambilan sampling total, meski demikian terjadi randomisasi sample disebabkan subjek penelitian yang ikut berdasarkan surat pemanggilan atas dasar tanggal dan bulan kelahiran yang bersangkutan untuk melakukan pemeriksaan kesehatan berkala. Sehingga Subjek yang ikut dalam penelitian ini diharapkan memiliki karakteristik umur yang berbeda-beda.

Pemeriksaan kesehatan berkala merupakan keharusan bagi setiap penerbang untuk dapat menentukan apakah seorang penerbang laik terbang atau harus *grounded* sementara atau permanen untuk mencegah *incident* ataupun *accident*.

3.7 CARA KERJA PENELITIAN DAN DEFINISI OPERASIONAL ⁴¹

CARA KERJA PENELITIAN

Subjek melakukan pemeriksaan kesehatan berkala di klinik Aeroklinik, Aerofisiologi dan Aerosamapta di Lakespra Saryanto TNI AU. Pada penelitian ini, identitas penerbang dirahasiakan.

Di Aeroklinik (pemeriksaan Klinis) hari pertama :

Sebelum pemeriksaan, para penerbang 'puasa' selama 8-10 jam, tidak merokok, dan tidak minum kopi ataupun makan. Keesokan pagi menuju Lakespra sekitar pukul 8 dilakukan pengambilan darah di laboratorium .

Setelah itu anamnesis dan pemeriksaan umum dilakukan oleh dokter umum dan dilanjutkan dengan pemeriksaan penyakit dalam, kulit, THT dan audiometrik, mata, gigi, bedah, jantung dan EKG, roentgen toraks, paru (spirometri) dan ultrasonografi .

Dari Pemeriksaan di Aeroklinik ini data subjek penelitian yang diambil adalah nilai Hb darah dan FVC dan FEV1 (hasil spirometri).

Di klinik Aerofisiologi (demonstrasi hypoxia) hari kedua :

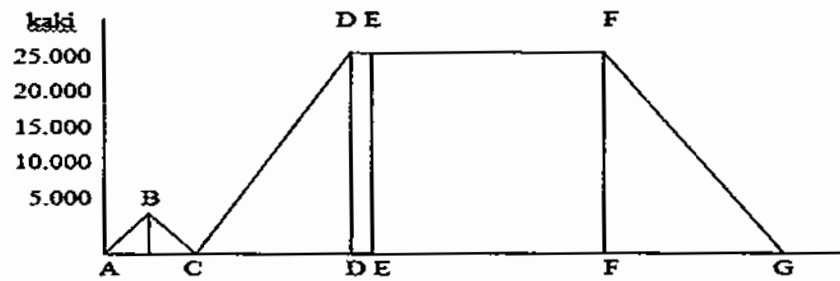
Para penerbang pukul 9 pagi , berkumpul untuk mengikuti briefing (pengarahan) sebelum melakukan latihan di Hypobaric chamber (RUBR), BOT (*Basic Orientation Training*), HC (*Human Centrifuge*), *Ejection Training*, HUET (*Helicopter Underwater Egress Training*).

Dengan mengikuti briefing diharapkan penerbang akan mengerti aspek fisiologis lingkungan penerbangan terhadap faal tubuh penerbang itu sendiri. Selain itu diterangkan apa risiko-risiko yang mungkin dihadapi dalam tugas di lingkungan ketinggian, mengenali risiko tersebut secara subyektif dan obyektif dan cara-cara mengantisipasinya.

Untuk penelitian ini difokuskan pada latihan di hypobaric chamber (RUBR) yang pelaksanaannya sebagai berikut:

1. Peserta Latihan Aerofisiologi, mengikuti briefing latihan.

2. Subjek masuk ke dalam RUBR dan duduk berdampingan dengan rekannya (*buddy*) dengan masing-masing memasang perangkat oksigen. Setiap kali penerbangan di RUBR didampingi oleh *inside observer* (petugas RUBR) 2 – 3 orang.
3. Sebelum terbang simulasi ke ketinggian 25.000 kaki (7.620 m), terlebih dahulu dilakukan sinus dan ear tube check, yaitu RUBR di terbangkan pada ketinggian 5000 kaki (1.525 m) dengan kecepatan 3.000–4.000 kaki/menit atau (914–1.219 m/menit), kemudian turun kembali ke permukaan laut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi *ear* atau *sinus block* akibat perubahan ketinggian. Bila subjek terdapat keluhan nyeri di hidung, telinga, atau dahi maka subjek tersebut dikeluarkan dari penelitian.
4. Selanjutnya subjek disimulasikan terbang sampai mencapai ketinggian 25.000 kaki (7.620 m) dengan memakai masker oksigen
5. Untuk menentukan Waktu sadar Efektif (WSE) dengan menggunakan stopwatch, subjek disimulasikan terbang hingga mencapai ketinggian 25.000 kaki. Setelah mencapai ketinggian tersebut subjek melepas masker dan diminta mengerjakan soal penjumlahan secara vertical sepasang angka random dua digit untuk ini subjek menerima 10 lembar yang tiap lembarnya terdiri dari 20 soal penjumlahan sehingga keseluruhan mencapai 200 soal. Setiap 30 detik pengawas di luar chamber memberikan abab-aba “lembar dibalik” sehingga subjek membalik soalnya dan mengerjakan lembar berikutnya. Menentukan titik akhir WSE adalah apabila subjek salah menjawab soal 2 kali berturut-turut atau diam/ tidak mengerjakan soal test selama 15 detik atau tidak mampu lagi mengerjakan perintah pengawas. Pengawas di luar mencatat waktu setiap subjek yang berhenti/dihentikan latihannya. Selesai mengerjakan soal mereka diturunkan kembali ke ketinggian *sea level* (permukaan laut).
6. Test RUBR yang dilakukan diatas mengikuti profil RUBR seperti tampak pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 Profil terbang di Ruang Udara Bertekanan Rendah

Keterangan:

- A,B, C : Ear tube dan sinus check
 C,D : Naik ke ketinggian 25.000 kaki (7.620 m) dengan kecepatan 3.000 – 4.000 kaki/menit, subjek memakai masker O₂
 D : Subyek melepas masker O₂
 E,F : Subjek mengerjakan soal
 F,G : Turun ke ketinggian sea level dengan kecepatan 3.000-4.000 kaki/menit

Penerbang mengetahui akan diikutkan dalam proses penelitian yang sebelumnya telah menandatangani informed consent. Prosedur ini merupakan prosedur rutin yang diikuti oleh para seluruh awak pesawat tiap 2 atau 3 tahun sekali. Prosedur ini tidak menambahkan perlakuan khusus selain prosedur yang telah ditetapkan oleh Juknis TNI AU.

Di klinik Samapta Lakespra TNI AU (hari ke 3) :

Subjek melakukan tes samapta A dan B.

Tes samapta A yaitu subjek melakukan lari di lapangan jogging track berbentuk persegi panjang yang memiliki keliling 250 m selama 12 menit. Kemudian dilakukan pencatatan jarak tempuh yang dicapai selama 12 menit.

Tes Samapta B yaitu subjek melakukan tes *Push Up, Pull Up, Sit Up dan shuttle run*.

Untuk penelitian ini data yang diambil berasal dari tes samapta A yaitu jarak yang ditempuh selama melakukan aktifitas lari 12 menit yang hasilnya akan dikonversikan dengan rumus Cooper untuk mendapatkan nilai VO_2max .

DEFINISI OPERASIONAL

No	Variabel	Pengukur	Alat Ukur	Cara pengukuran	Skala pengukuran
1	Waktu Sadar Efektif	Peneliti	Stopwatch merek QQ	Sesuai prosedur baku pengukuran WSE	Numerik
2	Kadar Hb darah	Laborat yang sudah terlatih	Hematology system (Advia 2120, bayer Health Care)	Sesuai prosedur baku alat tsb	Numerik
3	Nilai FVC	Petugas spirometri yang sudah terlatih	Spirometer (Datospir mod 120 l, Sibelmed)	Sesuai prosedur baku pengukuran spirometri	Numerik
4	Nilai FEV_1/FVC				
5	VO_2max	Petugas samapta yang sudah terlatih dan peneliti	Stopwatch merek QQ dan kalkulator $VO_2 max$	Mengukur waktu tempuh lari 12 menit lalu hasilnya dikonversi dengan kalkulator VO_2max	Numerik
6	Umur	peneliti	penanggalan	Tanggal lahir	Numerik

3.8 MANAJEMEN DAN ANALISIS DATA

Data primer yang diperoleh dari hasil pemeriksaan di Aeroklinik, Aerofisiologi dan klinik samapta dikumpulkan dan diverifikasi kemudian

dimasukkan ke dalam formulir penelitian di dalam table induk. Data kemudian diolah dengan menggunakan program SPSS ver 17.0 .

Dari data yang rencananya akan diambil termasuk dalam skala pengukuran 'numerik' untuk variable tergantungnya maka analisis yang dipilih adalah regresi linear.

Langkah-langkah analisis multivariat adalah sebagai berikut :

1. Menseleksi variable yang akan dimasukkan ke dalam analisis multivariate. Variabel yang dimasukkan kedalam analisis multivariate adalah yang memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari 0,25 pada analisis bivariate.
2. Melakukan analisis multivariate dengan metode *backward*
3. Melakukan interpretasi hasil dengan cara :
 - a. Variable yang berhubungan dengan variabel tergantung dengan melihat nilai p pada masing-masing variabel
 - b. Melihat urutan kekuatan dari variable-variabel yang berhubungan dengan variabel tergantung, urutan kekuatan dapat dilihat dari besarnya nilai r (koefisien korelasi).
4. Menentukan model atau rumus untuk memprediksikan variable tergantung. Dengan rumus umum sebagai berikut : $y = \text{konstanta} + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i$
5. Menilai kualitas dari rumus yang diperoleh dari analisis multivariate , dengan melihat nilai diskriminasi dengan cara melihat nilai *R square* dan kalibrasinya dengan melihat hasil uji anova. Suatu rumus dikatakan mempunyai nilai diskriminasi jika nilai *R square* semakin mendekati angka 1. Suatu rumus dikatakan mempunyai kalibrasi yang baik apabila nilai p pada uji anova $< 0,05$.

3.9 PERSYARATAN ETIK

Implikasi Etik Eksperimentasi pada manusia

Prosedur latihan RUBR sebenarnya merupakan latihan yang rutin dilakukan oleh hampir semua kru pesawat Angkatan Udara di berbagai belahan dunia. Latihan ini bertujuan untuk mengingatkan kembali kru pesawat akan bahaya hipoksia dalam

penerbangan dan melatih afektif, kognitif dan psikomotorik dalam mengantisipasi jika bahaya tersebut datang secara tiba-tiba. Latihan ini diperuntukkan bagi seluruh awak pesawat TNI AU yang rutin dilakukan setiap 2 atau 3 tahun sekali. Subyek penelitian berturut-turut dilakukan pengambilan data parameter fisiologi, kemungkinan masalah yang akan timbul :

1. Masalah kepankatan dalam militer, karena subyek yang diikutkan dalam penelitian ini kemungkinan besar ada juga yang memiliki pangkat lebih rendah dari peneliti.
2. Masalah efek dari hipoksia yang diderita oleh subyek penelitian.

Untuk itu mengantisipasi masalah tersebut maka diambil langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemilihan subyek dilakukan secara total sampling sehingga yang ikut dalam penelitian ini ada juga yang berpangkat lebih tinggi/lebih senior dari peneliti.
2. Subjek mendapatkan penjelasan rinci tentang tujuan penelitian, kegiatan dan perlakuan yang dijalannya serta mengisi surat persetujuan ikut serta penelitian. Peneliti tidak sebagai inside observer dalam melakukan pendampingan dalam RUBR tetapi sebagai outside observer yang mencatat WSE dari setiap subyek yang ikut dalam penelitian ini. Untuk mencegah bahaya dari hipoksia yang berat, maka setiap subyek memiliki pasangan/partner (buddy) ketika latihan di RUBR, yang akan memantau rekan mereka saat melepas masker oksigen, dan memasangkan jika terdapat kesulitan. Terdapat juga Inside observer (petugas di dalam RUBR) yang mengawasi secara ketat setiap ada masalah dan masih ada lagi Outside observer yang mengawasi dari luar RUBR. Sehingga akan ada pengawasan yang berlapis dari latihan ini.

Persetujuan Etik penelitian diperoleh dari Komisi Etik Penelitian FKUI.

BAB 4 HASIL PENELITIAN

4.1 PEROLEHAN HASIL DATA PENELITIAN

Dari penelitian yang dilakukan selama bulan November 2009 , terdapat 45 orang penerbang TNI AU yang diikuti dalam penelitian ini. Mereka ini merupakan peserta yang mengikuti program ILA (Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi) yang dikirim oleh skuadron masing-masing atas rekomendasi dokter skuadron.

Tabel 4.1 Silsilah subjek penelitian

No	Uraian	Keterangan
1.	Subjek penelitian (jumlah)	45
2.	Kepangkatan (jumlah subyek)	45
	Letda	9
	Lettu	9
	Kapten	12
	Mayor	9
	LetKol	5
	Kolonel	1
3.	Usia (tahun)	
	Termuda	23
	Tertua	46
4.	Hb (gr %)	
	Tertinggi	17.1
	Terendah	13.5
5.	Persentase FVC thd ref (%)	
	Tertinggi	101
	Terendah	74
6.	Persentase FEV ₁ /FVC (%)	
	Tertinggi	94
	Terendah	75
7.	VO ₂ max (ml/kg/min)	
	Tertinggi	50.19
	Terendah	26.72

Tabel 4.2 Karakteristik variable Umur, Pangkat, TUC, Hb, FVC, FEV₁/FVC dan VO₂ max

	Umur	Pangkat	WSE	Hb	Persentase FVC thdp Referensi	Persentase FEV ₁ / FVC	VO ₂ max
N Valid	45	45	45	45	45	45	45
Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mean	31.11		267.89	15.951	87.20	85.33	37.8987
Median	30.00		280.00	16.200	85.00	86.00	37.4500
Mode	24 ^a		300	16.2	82 ^a	86	33.42 ^a
Std. Deviation	5.519		34.747	.9507	6.434	4.996	5.06608

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Pada table 4.1 terdapat 45 subjek dengan usia termuda 23 tahun dan tertua 46 tahun. Dengan nilai Hb tertinggi bernilai 17.1 gr% dan terendah di 13.5 gr%. Untuk nilai Persentase FVC terhadap Referensi yang tertinggi adalah 101% dan nilai terendah 74 %, sedangkan nilai persentase FEV₁/FVC yang tertinggi adalah 94% dan terendah adalah 75%. Dan yang terakhir untuk nilai VO₂max nilai yang tertinggi adalah 50.19 ml/kg/min yang terendah di 26.72 ml/kg/min.

Tabel 4.2 menggambarkan karakteristik dari masing-masing variable independent.

4.2 PENGARUH UMUR TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Tabel 4.3 Statistik deskriptif umur dan WSE

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Umur	31.11	5.519	45
WSE	267.89	34.747	45

Dari tabel 4.3 terlihat bahwa mean (rerata) dari umur subjek penelitian adalah 31.11 dengan standar deviasi 5.519 .

Tabel 4.4 Korelasi antara Umur dan WSE

Umur dan WSE	Pearson korelasi	Kekuatan korelasi	Nilai p	Kemaknaan
N= 45	- 0,786	Kuat	0,000*	bermakna

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari table 4.4 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah umur dan WSE dan hasil korelasi antara umur dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan -0.786 dan nilai kemaknaan $p < 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi negatif berarti semakin usia bertambah maka nilai WSE akan semakin kecil. Nilai korelasi Pearson -0,786 menunjukkan korelasi negatif bermakna dengan kekuatan korelasi yang kuat.

4.3 PENGARUH Hb TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Tabel 4.5 Statistik deskriptif Hb dan WSE

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Hemoglobin	15.951	.9507	45
WSE	267.89	34.747	45

Dari tabel 4.5 terlihat bahwa mean (rerata) dari nilai Hb subjek penelitian adalah 15.951 dengan standar deviasi 0.9507

Tabel 4.6 Korelasi antara Hb dan WSE

Hb dan WSE	Pearson korelasi	Kekuatan korelasi	Nilai p	Kemaknaan
N= 45	0,685	Kuat	0,000*	bermakna

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel 4.6 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah Hemoglobin dan WSE dan hasil korelasi antara umur dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.685 dan nilai kemaknaan $p < 0.05$.

Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin nilai Hb bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Nilai korelasi Pearson 0.685 menunjukkan korelasi positif bermakna dengan kekuatan korelasi yang kuat.

4.4 PENGARUH *PERSENTASE FVC/REFERENSI* TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Tabel 4.7 Statistik deskriptif *Persentase FVC terhadap referensi* dan WSE

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Persentase FVC thdp Referensi	87.20	6.434	45
WSE	267.89	34.747	45

Dari tabel 4.7 terlihat bahwa mean (rerata) dari *Persentase FVC terhadap referensi* subjek penelitian adalah 87.20 dengan standar deviasi 6.434.

Tabel 4.8 Korelasi antara *Persentase FVC terhadap referensi* dan WSE

FVC dan WSE	Pearson korelasi	Kekuatan korelasi	Nilai p	Kemaknaan
N= 45	0,200	lemah	0,188	Tidak bermakna

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari table 4.8 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah *Persentase FVC/referensi* terhadap WSE. Hasil korelasi antara *Persentase FVC/referensi* terhadap WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.2 dan nilai kemaknaan $p > 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin *Persentase FVC/referensi* bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Tetapi nilai kemaknaan di sini > 0.05 menunjukkan tidak bermaknanya korelasi antara *Persentase FVC/referensi* dengan nilai WSE. Sehingga kesimpulannya korelasi antara *Persentase FVC/referensi* terhadap WSE tidak ada.

4.5 PENGARUH FEV₁/FVC TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Tabel 4.9 Statistik deskriptif *Persentase FEV₁/FVC* dan WSE

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
Persentase FEV ₁ / FVC	85.33	4.996	45
WSE	267.89	34.747	45

Dari tabel 4.9 terlihat bahwa mean (rerata) dari *Persentase FEV₁/FVC* subjek penelitian adalah 85.33 dengan standar deviasi 4.996 .

Tabel 4.10 Korelasi antara *Persentase FEV₁/FVC* dan WSE

FEV ₁ /FVC dan WSE	Pearson korelasi	Kekuatan korelasi	Nilai p	Kemaknaan
N= 45	0,086	Sangat lemah	0,575	Tidak bermakna

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Dari tabel 4.10 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah *Persentase FEV₁/FVC* dan WSE. Hasil korelasi antara *Persentase FEV₁/FVC* dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.8 dan nilai kemaknaan $p > 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin *Persentase FEV₁/FVC* bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Tetapi nilai kemaknaan di sini > 0.05 menunjukkan tidak bermaknanya korelasi antara *Persentase FEV₁/FVC* dengan nilai WSE. Sehingga kesimpulannya korelasi antara *Persentase FEV₁/FVC* dengan WSE tidak ada.

4.6 PENGARUH VO₂ max TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Tabel 4.11 Statistik deskriptif VO₂ max dan WSE

Descriptive Statistics			
	Mean	Std. Deviation	N
VO ₂ max	37.8987	5.06608	45
WSE	267.89	34.747	45

Dari tabel 4.11 terlihat bahwa mean (rerata) dari umur subjek penelitian adalah 37.8987 dengan standar deviasi 5.519 .

Tabel 4.12 Korelasi antara VO₂ max dan WSE

VO ₂ max dan WSE	Pearson korelasi	Kekuatan korelasi	Nilai p	Kemaknaan
N= 45	0,346	lemah	0,020*	bermakna

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Dari table 4.12 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah VO₂ max dan WSE dan hasil korelasi antara umur dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.346 dan nilai kemaknaan $p < 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin VO₂ max bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Nilai korelasi Pearson 0.346 menunjukkan korelasi positif dengan kekuatan korelasi yang lemah.

4.7 PENGARUH MULTIFAKTORIAL TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Setelah diketahui masing-masing variabel *independent* nilai korelasi (r) maka tingkat kekuatan korelasi dari yang terkuat adalah umur (-0.786), hemoglobin (0.685) dan terakhir VO₂max (0.346), dengan nilai signifikansi $p < 0.05$. Ketiga variable tsb di atas yang memenuhi syarat untuk dimasukkan ke dalam analisis regresi linier (syarat nilai $p < 0.25$). Hasil dari analisis regresi linier dihasilkan model (rumus) tampak pada table berikut ini.

Tabel 4.13 Model untuk memprediksikan WSE

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	368.429	136.810		2.693	.010		
	Umur	-4.563	1.139	-.725	-4.005	.000	.284	3.524
	Hemoglobin	2.339	6.820	.064	.343	.733	.267	3.745
	VO ₂ max	.109	.750	.016	.145	.885	.779	1.284
2	(Constant)	368.855	135.175		2.729	.009		
	Umur	-4.569	1.125	-.726	-4.060	.000	.284	3.519
	Hemoglobin	2.582	6.534	.071	.395	.695	.284	3.519
3	(Constant)	421.755	18.762		22.479	.000		
	Umur	-4.946	.594	-.786	-8.326	.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: WSE

Dari table model diatas maka persamaan didapatkan adalah :

$$y = \text{konstanta} + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n$$

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$$

Nilai konstanta dan nilai koefisien untuk variable tersebut dapat dilihat pada kolom B.

Sehingga aplikasi persamaan yang diperoleh adalah untuk memprediksi nilai WSE (Waktu Sadar efektif) dalam satuan detik adalah sbb.

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$$

Kemudian untuk menilai kualitas persamaan yang diperoleh dapat dinilai dengan melihat hasil uji Anova dan Model Summary.

Tabel 4.14 Uji ANOVA

ANOVA^d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	32873.045	3	10957.682	22.184	.000 ^a
	Residual	20251.399	41	493.937		
	Total	53124.444	44			
2	Regression	32862.649	2	16431.325	34.060	.000 ^b
	Residual	20261.795	42	482.424		
	Total	53124.444	44			
3	Regression	32787.285	1	32787.285	69.324	.000 ^c
	Residual	20337.160	43	472.957		
	Total	53124.444	44			

a. Predictors: (Constant), VO2max, Umur, Hemoglobin

b. Predictors: (Constant), Umur, Hemoglobin

c. Predictors: (Constant), Umur

d. Dependent Variable: WSE

Suatu persamaan dikatakan layak untuk digunakan bila nilai p pada uji ANOVA $< 0,05$. Pada uji ANOVA ini, nilai p adalah sebesar $< 0,001$. Dengan demikian, rumus yang digunakan layak untuk digunakan.

Pada Model Summary, nilai yang diperhatikan adalah nilai Adjusted R Square. Nilai ini mempunyai arti berapa besar nilai (persen) persamaan yang diperoleh mampu menjelaskan WSE. Semakin mendekati 100%, maka persamaan yang diperoleh semakin baik. Untuk penelitian ini Model Summary dapat dilihat di tabel 4.15

Tabel 4.15 Model Summary

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.787 ^a	.619	.591	22.225	
2	.787 ^b	.619	.600	21.964	
3	.786 ^c	.617	.608	21.748	1.648

a. Predictors: (Constant), VO2max, Umur, Hemoglobin

b. Predictors: (Constant), Umur, Hemoglobin

- c. Predictors: (Constant), Umur
 d. Dependent Variable: WSE

Koefisien determinasi ditunjukkan pada kolom Adjusted R Square. Nilai Adjusted R Square adalah sebesar 59.1 %, artinya persamaan yang diperoleh mampu menjelaskan WSE sebesar 59,1% . Sebesar 40.9% sisanya, dijelaskan oleh variable lain yang tidak diteliti. Dengan demikian variable umur, Hb dan VO₂max bukanlah satu-satunya variable yang bisa memprediksikan WSE, sehingga rumus yang lengkap adalah sebagai berikut :

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max}) + \text{residu}$$

Pengujian Syarat regresi linier dengan menggunakan SPSS

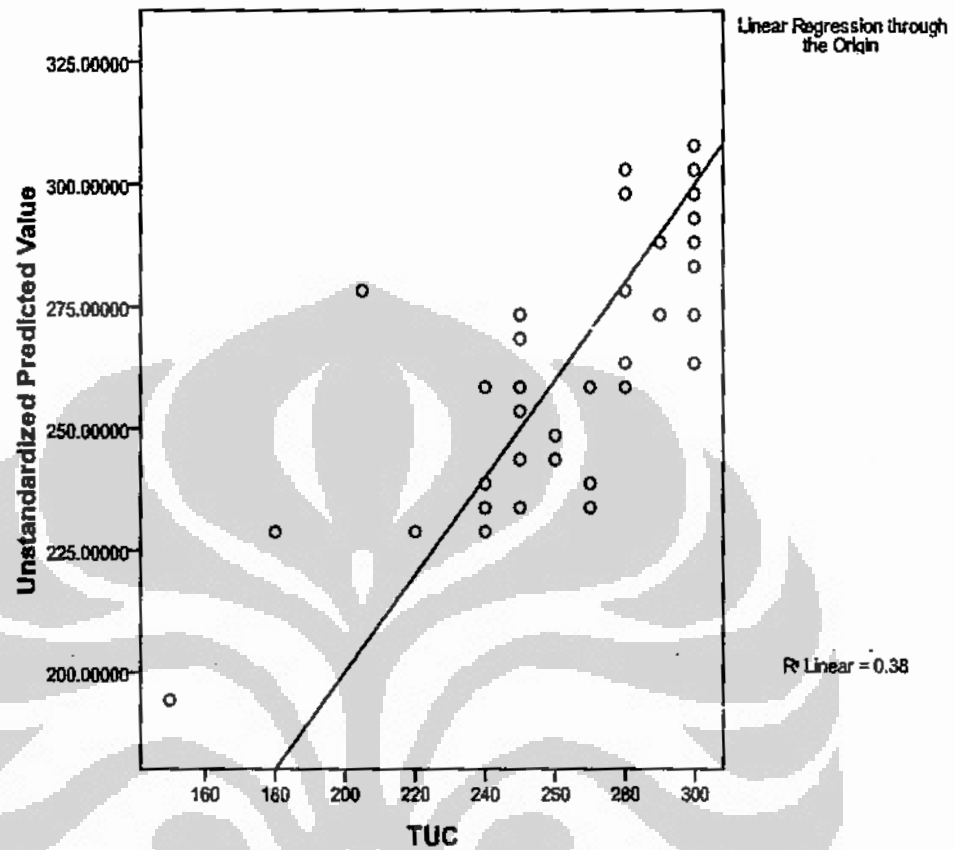
Dari hasil persamaan diatas maka diperiksa satu-persatu apakah syarat regresi linier terpenuhi atau tidak.

Pengujian 1 : Hubungan variable dependent dengan variable independent harus linier hasil output SPSS dapat dilihat dari gambar 4.1

Gambar 4.1 memperlihatkan hubungan variable independen dan dependen yang linier. Hasil pengujian terlihat scatter berada disekitar garis diagonal sehingga hasil kesimpulannya syarat terpenuhi.

Pengujian 2 : Residu berdistribusi normal dan mean residu = 0 dapat dilihat di table 4.16

Tabel 4.16 memperlihatkan rerata (mean) Residu sebesar 0 dan memiliki distribusi yang normal, Test Shapiro Wilk, $p > 0.05$. sehingga syarat ini juga terpenuhi.



Gambar 4.1 Scatter Plot antara variable independen dan dependen

Tabel 4.16 Statistik deskriptif dari nilai residu.

Descriptives		Statistic	Std. Error	
Standardized Residual	Mean	.0000000	.14736747	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-.2969996	
		Upper Bound	.2969996	
	5% Trimmed Mean	.0599107		
	Median	.0867844		
	Variance	.977		
	Std. Deviation	.98857105		
	Minimum	-3.37186		
	Maximum	1.67868		
	Range	5.05054		
	Interquartile Range	1.04334		
	Skewness	-1.125	.354	
	Kurtosis	2.335	.695	

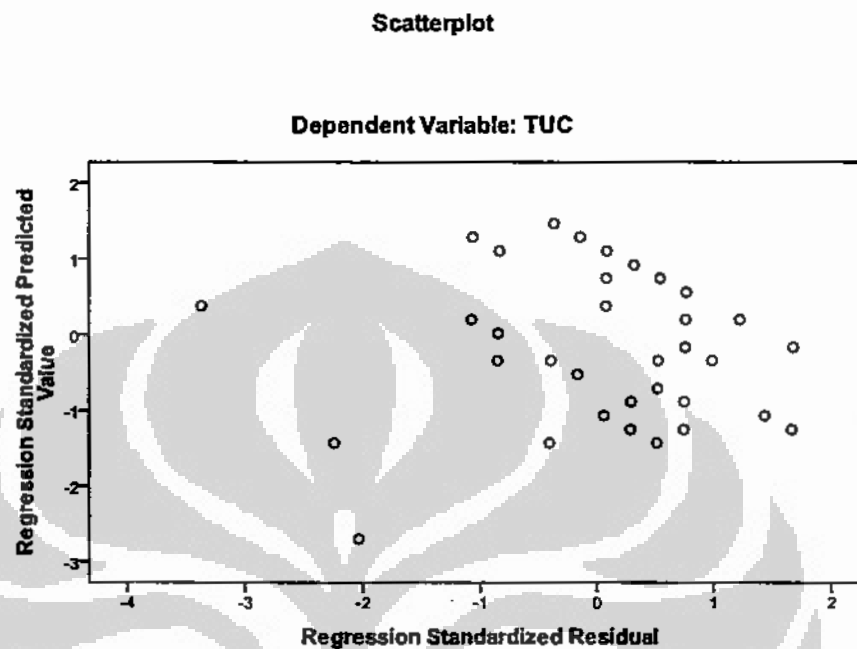
Tabel 4.17 Tes Normalitas distribusi residu

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual	.145	45	.019	.925	45	.007

a. Lilliefors Significance Correction

Pengujian 3: Residu mempunyai varian yang konstan

Untuk pengujian syarat ini maka diperlukan grafik scatter antara *standardized residual* dengan *standardized predicted value*, dengan ini dapat diketahui varian dari residual bersifat homogen atau tidak. Pada hasil olah data SPSS *grafik scatter* tidak mempunyai pola tertentu. Dengan demikian, syarat varian konstan terpenuhi.



Gambar 4.2 Scatter Plot antara standardized residual dengan standardized predicted value

Pengujian 4: Residu dan Variabel bebas tidak mempunyai korelasi yang kuat

Table 4.18 korelasi Residu dan Variabel bebas

Korelasi Residu thdp	Pearson korelasi	Kekuatan korelasi	Nilai p	Kemaknaan
Umur	0,000	Tidak ada	1	Tidak bermakna
Hb	0,032	Sangat lemah	0,832	Tidak bermakna
VO2max	0,034	Sangat lemah	0,827	Tidak bermakna

Dari table di atas terlihat bahwa terdapat korelasi yang lemah dan signifikansi > 0.05 . Selain itu syarat independensi dapat dinilai dengan melihat nilai Durbin Watson (DW). Syarat independensi terpenuhi jika nilai DW mendekati angka 2. Pada model summary (table 4.15) DW adalah 1.648. Sehingga berdasarkan prosedur pengujian syarat regresi linear maka dapat disimpulkan bahwa syarat regresi linier terpenuhi.

BAB 5 PEMBAHASAN

5.1 KETERBATASAN DAN KELEBIHAN PENELITIAN

Pada penelitian ini yang dilakukan pada penerbang TNI AU masih terdapat keterbatasan. Keterbatasan tersebut antara lain:

Pertama, bias seleksi Subyek yang ikut dalam penelitian ini beragam dalam hal umur, yang termuda dari usia 23 hingga yang tertua 46 tahun. Mereka yang menjadi subjek penelitian adalah orang yang memang sudah terjadwal untuk mengikuti ILA (Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi). Dalam hal kepangkatan yang terendah adalah Letnan Dua dan yang tertinggi adalah Kolonel.

Terdapat kesulitan dalam mengumpulkan subjek penelitian yang berusia diatas 40 tahun dikarenakan pada usia tersebut kebanyakan dari mereka sudah tidak aktif terbang dan menjabat jabatan struktural. Tetapi setelah diuji dengan uji normalitas data hasil sebaran data untuk variabel umur masih normal.

Kedua, tidak semua variable di luar bidang fisiologi diteliti misalnya kebiasaan merokok, stress psikis, ekspresi gen Hypoxia Inducible Factor (HIF)- 1 α dll.

Mengenai kelebihan penelitian.

Kelebihan alat dan peralatan khususnya hypobaric chamber dengan kapasitas 20 orang yang di Indonesia hanya ada di Lakespra Saryanto sehingga Laboratorium Aerofisiologi Lakespra Saryanto menjadi pusat penelitian bidang kesehatan penerbangan yang sudah bekerja sama dengan beberapa Fakultas Kedokteran di Indonesia, termasuk salah satunya Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia dengan adanya MOU (Memorandum of Understanding) antara FKUI dan Lakespra Saryanto.

Pada di akhir penelitian didapatkan formulasi untuk mengetahui WSE seseorang sehingga dengan adanya formulasi tersebut dapat memprediksikan seseorang terhadap tingkat ketahanan seseorang terhadap hipoksia. Tentunya dengan adanya formulasi ini akan memudahkan dalam pemilihan personel TNI dalam tugas yang mengandung risiko hipoksia.

5.2 PENGARUH UMUR TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Bila dilihat dari data subyek penelitian usia subjek dari 23 tahun hingga 46 tahun memiliki kecendrungan semakin usia bertambah maka semakin kecil nilai dari WSE. Dari table 4.3 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah umur dan WSE dan hasil korelasi antara umur dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan (r) -0.786 dan nilai kemaknaan $p < 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi negatif berarti semakin usia bertambah maka nilai WSE akan semakin kecil. Nilai korelasi Pearson -0,786 menunjukkan korelasi negatif bermakna dengan kekuatan korelasi yang kuat.

Bertambahnya usia memiliki kaitan yang erat dengan proses *aging* (penuaan) secara umum fisiologi dari keseluruhan sistem organ mengalami proses aging tanpa kecuali. Untuk masalah di bidang penelitian ini peneliti berfokus pada sistem kardiorespirasi. Terdapat berbagai perubahan fisiologi yang berkaitan dengan sistem kardiovaskuler dan sistem pulmonar.

Di sistem pulmonar, terjadi proses penurunan ukuran saluran pemapasan, terkadang terdapat perubahan jaringan elastic, peningkatan gradual kekakuan dari dinding dada dan hilangnya kekuatan sekitar 20% dari otot interkostal yang dimulai pada sekitar usia 50 tahunan. Terdapat penurunan tekanan Parsial O_2 secara progresif dan linear dari 95 Torr saat usia 20 tahun menjadi 75 torr di usia 70 tahun. (Sorbini *et al.*, 1968). *Alveolar dead space* meningkat seiring dengan kapasitas difusi paru yang menurun berkisar 20% dibanding saat usia muda. Serta terjadi penurunan respon terhadap hipoksia dan hiperkapnia. Kemampuan untuk *exercise* yang diindikasikan lewat ambilan oksigen maksimal VO_{2max} juga mengalami penurunan yang linier dan progresif sekitar 35% dimulai usia 20 hingga 70 tahun.

37,42

Proses aging yang terjadi di sistem kardiovaskuler, melibatkan perubahan yang beragam pada struktur dan fungsi. Perubahan yang terjadi di tingkat struktural dan fungsi juga terjadi di tingkat molekuler/seluler. Jantung menjadi lebih

hipertropik dan hiperresponsif terhadap stimulus simpatis (tetapi tidak parasimpatis). Barorefleksi arterial mengalami perubahan sesuai dengan semakin bertambahnya usia dimana terjadi gangguan resistensi vaskuler. Belum ada bukti yang memperlihatkan letak perubahan di saraf afferen, saraf sentral, efferen ataupun organ efektor yang merupakan arkus reflex. Reflek-reflek yang berasal dari vagal afferent kardiopulmoner menjadi tumpul sesuai dengan penambahan usia.³⁷

Proses perubahan yang terjadi di sistem kardiopulmoner ini akan berefek pada proses transport oksigen sehingga akan memudahkan terjadinya hipoksia, atau dengan kata lain menurunkan Waktu Sadar Efektif (WSE).

5.3 PENGARUH Hb TERHADAP WAKTU SADAR

Dapat dilihat dari data subyek penelitian Hb subjek dari yang terendah 13,5 hingga 17,1 gr% memiliki kecenderungan semakin tinggi nilai Hb maka semakin besar nilai dari WSE. Dari tabel 4.5 tabel terlihat bahwa dari variabel yang dihubungkan adalah Hemoglobin dan WSE dan hasil korelasi antara Hb dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.685 dan nilai kemaknaan $p < 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin nilai Hb bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Nilai korelasi Pearson 0.685 menunjukkan korelasi positif bermakna dengan kekuatan korelasi yang kuat.

Sistem pengangkutan O_2 di dalam tubuh terdiri atas paru dan sistem kardiovaskuler. Pengangkutan O_2 menuju jaringan tertentu bergantung pada jumlah O_2 yang masuk ke dalam paru, adanya pertukaran gas dalam paru yang adekuat, aliran darah menuju jaringan, serta kapasitas darah untuk mengangkut O_2 . Aliran darah bergantung pada derajat konstiksi jalinan vaskular di dalam jaringan serta curah jantung. Jumlah O_2 di dalam darah ditentukan oleh jumlah O_2 yang larut, jumlah hemoglobin dalam darah serta afinitas hemoglobin terhadap O_2 .

Struktur kuarter hemoglobin menentukan afinitasnya terhadap O_2 . Pada deoksi hemoglobin, unit globin terikat secara erat pada kedudukan tegang (T) menurunkan kemampuan pengikatan (afinitas) O_2 , saat O_2 untuk pertama kalinya, ikatan yang memegang globin akan dilepas, menghasilkan suatu kedudukan

relaksasi (R) yang akan membuka tempat pengikatan O_2 . Hasil akhirnya ialah peningkatan afinitas terhadap O_2 . Peralihan dari keadaan satu ke keadaan lainnya diperkirakan berlangsung sekitar 10^8 kali selama kehidupan sel darah merah.

Kurva disosiasi hemoglobin-oksigen, yaitu kurva yang menggambarkan hubungan persentase saturasi kemampuan pengangkutan O_2 oleh hemoglobin dengan $P O_2$, memiliki bentuk sigmoid yang khas akibat interkonversi T-R. Pengikatan O_2 oleh gugus heme pertama pada satu molekul Hb akan meningkatkan afinitas gugus kedua terhadap O_2 , dan oksigenasi gugus kedua akan meningkatkan afinitas gugus ke tiga dst, sehingga afinitas Hb terhadap molekul O_2 keempat berlipat kali lebih besar dibandingkan reaksi pertama.

Apabila darah diseimbangkan dengan 100% O_2 ($PO_2 = 760$ mmHg), hemoglobin normal akan tersaturasi 100%. Pada keadaan tersaturasi penuh, setiap gram hemoglobin normal mengandung 1.39 mL O_2 . Namun, di dalam darah umumnya terdapat sejumlah kecil derivat hemoglobin yang inaktif, dan nilai yang diperoleh in vivo umumnya lebih rendah. Nilai yang lazim diperoleh ialah 1.34 mL O_2 . konsentrasi hemoglobin dalam darah normal adalah sekitar 15 g/dL (14 g/dL pada wanita dan 16 g/dL pada pria. Dengan demikian, 1 dL darah mengandung 20.1 mL ($1.34 \text{ mL} \times 15$) O_2 yang terikat pada hemoglobin, yaitu apabila saturasi hemoglobin 100%. Jumlah O_2 yang larut dalam darah merupakan fungsi linier dari $P O_2$ ($0,003 \text{ mL/dL darah/mmHg } P O_2$).⁴³

Dari data penelitian ini dengan bertambahnya nilai Hb maka semakin besar nilai WSE begitu pula sebaliknya, hal ini sesuai dengan teori klasifikasi hipoksia yaitu hipemik (anemic) hypoksia. Hipoksia yang disebabkan oleh berkurangnya kadar Hb sebagai alat transport O_2 di darah dan jaringan.

5.4 PENGARUH PERSENTASE FVC/REF dan FEV₁/FVC TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Pada hasil penelitian ini didapatkan data Persentase FVC/referensi nilai yang terendah 74% hingga tertinggi 101% , kemudian data persentase FEV₁/FVC yang terendah 75% hingga yang tertinggi 94%.

Pemeriksaan spirometri khususnya nilai FVC dan FEV_1/FVC adalah untuk menggambarkan fungsi paru. FVC adalah volume maksimal yang dapat dihembuskan dengan kuat setelah inspirasi maksimal umumnya dicapai dalam 3 detik dan normalnya berkisar 4 liter, sedangkan FEV_1/FVC adalah persentase dari FVC yang dihembuskan dengan kuat dalam satu detik. Biasanya orang normal dapat menghembuskan lebih dari 75% dalam satu detik.

Dari Pedoman petunjuk teknis yang diterbitkan oleh Diskes Mabes AU mengenai interpretasi hasil pemeriksaan spirometri adalah sebagai berikut : ⁴¹

	Normal	Ringan	Sedang	Berat
Nilai (FVC/ref)	$\geq 80 - 120 \%$	$\geq 60 - < 80 \%$	$\geq 30 - < 60\%$	$< 30 \%$
Nilai (FEV_1/FVC)	$\geq 75 \%$	$\geq 60 - 75\% <$	$\geq 30 - < 60\%$	$< 30 \%$
Status Kesehatan	1	2	3/2	4/3 p

Dari table 4.7 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah Persentase *FVC/referensi* terhadap WSE. Hasil korelasi antara Persentase *FVC/referensi* terhadap WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.2 dan nilai kemaknaan $p > 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin Persentase *FVC/referensi* bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Tetapi nilai kemaknaan di sini > 0.05 menunjukkan tidak bermaknanya korelasi antara *Persentase FVC/referensi* dengan nilai WSE. Sehingga kesimpulannya korelasi antara *Persentase FVC/referensi* terhadap WSE tidak ada.

Dari tabel 4.9 tabel terlihat bahwa dari variable yang dihubungkan adalah Persentase *FEV₁/FVC* dan WSE. Hasil korelasi antara Persentase *FEV₁/FVC* dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.8 dan nilai kemaknaan $p > 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin Persentase *FEV₁/FVC* bertambah maka nilai WSE akan semakin besar.

Tetapi nilai kemaknaan di sini > 0.05 menunjukkan tidak bermaknanya korelasi antara Persentase FEV_1/FVC dengan nilai WSE. Sehingga kesimpulannya korelasi antara Persentase FEV_1/FVC dengan WSE tidak ada.

Dari kedua variabel independen tersebut tidak menunjukkan korelasi yang bermakna dengan WSE dikarenakan uji fungsi paru menggambarkan ada tidaknya gangguan ventilasi. Gangguan ventilasi terdiri dari gangguan restriksi dan obstruksi. Gangguan restriksi berarti ada keterbatasan pengembangan paru karena berbagai kelainan yang terdapat di dalam paru, tulang dada, otot pernapasan, diafragma, pleura dan mediastinum. Hal ini dapat diketahui secara tidak langsung dengan mengukur FVC. Gangguan obstruksi adalah gangguan yang menyebabkan perlambatan aliran udara ekspirasi yang terjadi pada berbagai penyakit seperti asma bronkiale, bronchitis kronis, emfisema, obstruksi oleh tumor dan benda asing. Gangguan obstruksi dapat diketahui melalui pengukuran FEV_1 . Kedua gangguan ini dapat diketahui dengan pemeriksaan spirometri, dengan mengukur volume gas. Volume gas seseorang tergantung dari usia, sex dan ukuran tubuh.

Untuk dalam penelitian ini tidak terdapat korelasi yang bermakna karena untuk terjadinya proses Hipoksia sebenarnya yang berperan adalah proses difusi dan transportasi gas O_2 . Tetapi hal ini bukan berarti nilai ekstrim yang rendah dari kedua variabel ini tidak mempengaruhi WSE. Karena dalam penelitian ini subjek penelitian memiliki nilai status kesehatan untuk FEV_1/FVC dan FVC masih dalam batas normal.

5.5 PENGARUH VO_2 max TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

VO_2 max adalah volume maksimum dari oksigen dalam satuan milliliter yang dapat digunakan per kilogram berat badan saat bernapas di ketinggian *sea level*. Komsumsi oksigen akan setara secara linier dengan kebutuhan energy, oleh karena itu ketika kita mengukur komsumsi oksigen, maka secara tidak langsung kita dapat mengukur kapasitas maksimum individu untuk bekerja secara aerobik.

Hasil penelitian ini didapatkan range VO_2 max mulai dari 26,72 hingga 50.19. Kemudian dari table 4.11 tabel terlihat bahwa dari variable yang

dihubungkan adalah $\dot{V}O_2$ max dan WSE dan hasil korelasi antara $\dot{V}O_2$ max dan WSE dengan menggunakan uji hipotesis Pearson didapatkan 0.346 dan nilai kemaknaan $p < 0.05$. Dari hasil ini menunjukkan dengan korelasi positif berarti semakin $\dot{V}O_2$ max bertambah maka nilai WSE akan semakin besar. Nilai korelasi Pearson 0.346 menunjukkan korelasi positif dengan kekuatan korelasi yang lemah. Nilai yang lemah ini disebabkan sistem pengangkutan oksigen, karbondioksida, dan nutrisi menuju ke sel-sel sangat dipengaruhi 4 sistem yaitu kardio, vaskuler, pulmonar, dan darah. Jantung sebagai alat pompa mendorong oksigen melalui sistem pembuluh darah yang berasal paru untuk diedarkan ke seluruh sel-sel tubuh yang membutuhkan. Kemudian dengan hasil korelasi yang tidak bermakna di pemeriksaan uji fungsi paru (FVC dan FEV1) mengakibatkan nilai variabel ini ($\dot{V}O_2$ max) jadi ikut terpengaruh. Sehingga memperkecil kekuatan korelasi dari $\dot{V}O_2$ max. Ditambah lagi dengan adanya kemampuan aerobik yang tinggi membuat frekuensi jantung semakin lambat menjadikan respon tubuh terhadap hipoksia baik itu hipoksik hipoksia dan terlebih lagi stagnan hipoksia akan semakin kurang efektif.

5.6 PENGARUH MULTIFAKTORIAL TERHADAP WAKTU SADAR EFEKTIF

Penelitian ini memperlihatkan variabel *independent* dengan nilai korelasi (r) yang terkuat adalah umur (-0.786), hemoglobin (0.685) dan terakhir $\dot{V}O_2$ max (0.346), dengan nilai signifikansi $p < 0.05$. Ketiga variabel tsb di atas yang memenuhi syarat untuk dimasukkan ke dalam analisis regresi linier (syarat nilai $p < 0.25$). Hasil dari analisis regresi linier dihasilkan model (rumus) berikut ini.

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\dot{V}O_2\text{max})$$

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,569 (\text{Umur}) + 2,582 (\text{Hb})$$

$$\text{WSE (detik)} = 421,755 - 4,946 (\text{Umur})$$

Ketiga model/persamaan matematis tersebut merupakan alat yang bisa dijadikan preditor untuk mengetahui berapa WSE seseorang.

Peneliti lebih cenderung untuk memilih formulasi yang pertama yaitu :

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$$

Dikarenakan kondisi penerbang TNI AU yang rutin dalam melakukan pemeriksaan kesehatan setahun sekali dan uji samapta setiap 6 bulan sekali maka data kesehatan yang melingkupi ketiga variabel di atas dapat dipakai untuk memprediksi WSE seseorang. Tetapi tidak menutup kemungkinan jika diperlukan dapat pula dipakai formulasi yang kedua maupun yang ketiga. Hal ini bisa dimungkinkan jika seseorang tidak memiliki data tentang dirinya (Hb maupun VO_2max .)

Mengenai residu dari model ini yang cukup besar, telah diuji secara statistik dan hasilnya menunjukkan adanya independensi dari residu tersebut. Kemudian didukung pula dengan uji ANOVA dan dihasilkan nilai $p < 0,05$

Sehingga model/ formulasi diatas dapat dipakai dan dipercaya.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Hipoksia merupakan hazard di dunia penerbangan yang cukup banyak menjadi faktor penyebab terjadinya kecelakaan. Oleh karena itu diperlukan usaha agar salah satu faktor itu dieliminir. Demonstrasi hipoksia bertujuan untuk mengindoktrinasi penerbang sehingga ketika diperhadapkan dalam situasi nyata maka kesigapan untuk mengantisipasi dapat segera dilaksanakan.

Berbagai parameter fisiologi diteliti hubungannya dengan WSE atau TUC (Waktu Sadar Efektif atau Time Useful Consciousness) guna memprediksikan WSE. Parameter fisiologi itu yang menjadi variabel independen adalah umur, Hb, persentase FVC terhadap nilai referensi, persentase FEV1/ FVC dan VO₂max uji korelasinya dan hasilnya dari yang terkuat korelasinya adalah Umur ($r = -0,786$), Hb ($r = 0,685$) dan VO₂max ($r = 0,346$). Untuk variabel persentase FVC terhadap nilai referensi dan persentase FEV1/ FVC terhadap nilai WSE hasilnya tidak ada korelasi yang bermakna.

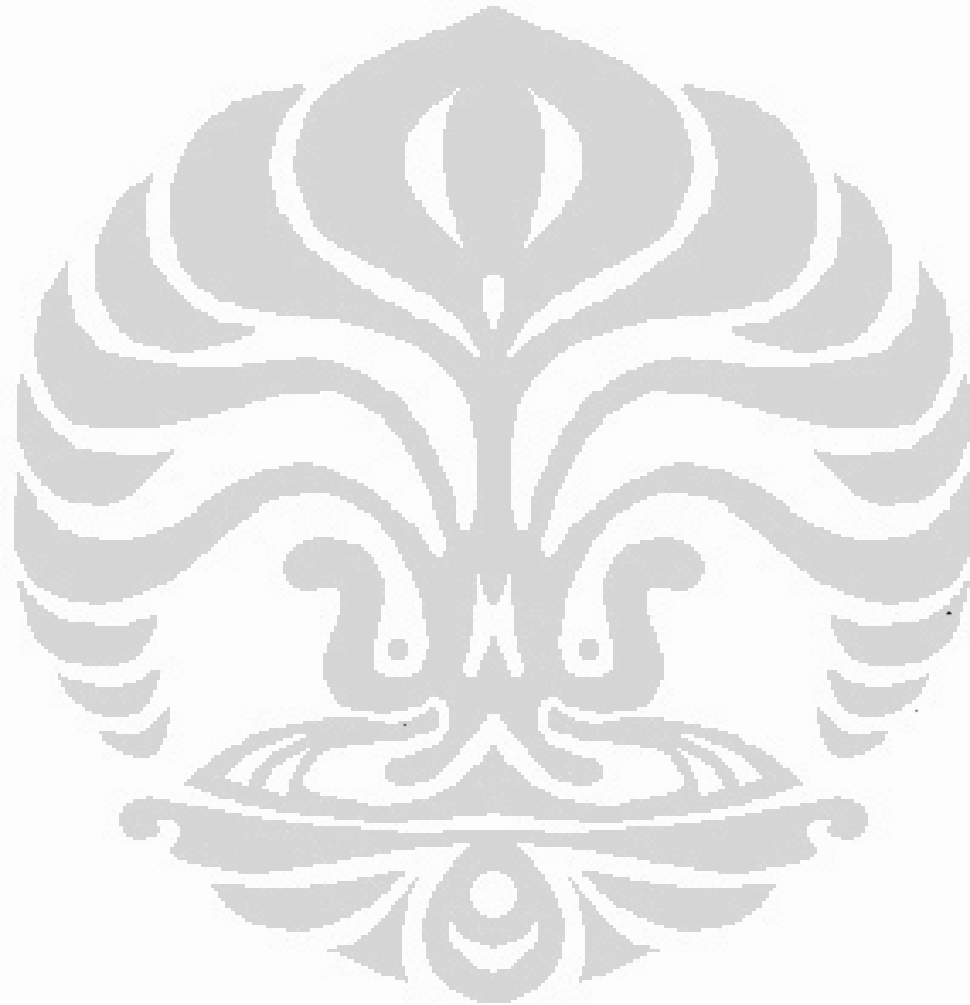
Dari ketiga variabel yang memenuhi syarat kemaknaan (variabel umur, Hb dan VO₂ max), diuji melalui analisis multivariate dan menghasilkan model (formulasi) yang dapat memprediksikan nilai WSE. Formulasi nya adalah sbb:

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$$

6.2 SARAN

Bagi penerbang, dianjurkan untuk selalu memperhatikan kemampuan fisiknya sebelum melaksanakan tugas khususnya yang berhubungan dengan bahaya hipoksia. Bagi Dokter skuadron agar mampu menerapkan formulasi (model prediktor WSE) guna skrining personel sesuai dengan tugas dan kondisi lapangan

Bagi Akademisi, dapat mengembangkan penelitian ini untuk dikemudian hari misalnya deskriptif WSE dikalangan penerjun, atau mencari prediktor stagnant hipoksia bagi penerbang tempur yang sering terpapar manuver *G Force* dan juga dilakukan uji validasi persamaan untuk subjek pilot militer atau pilot penerbangan sipil.



DAFTAR REFERENSI

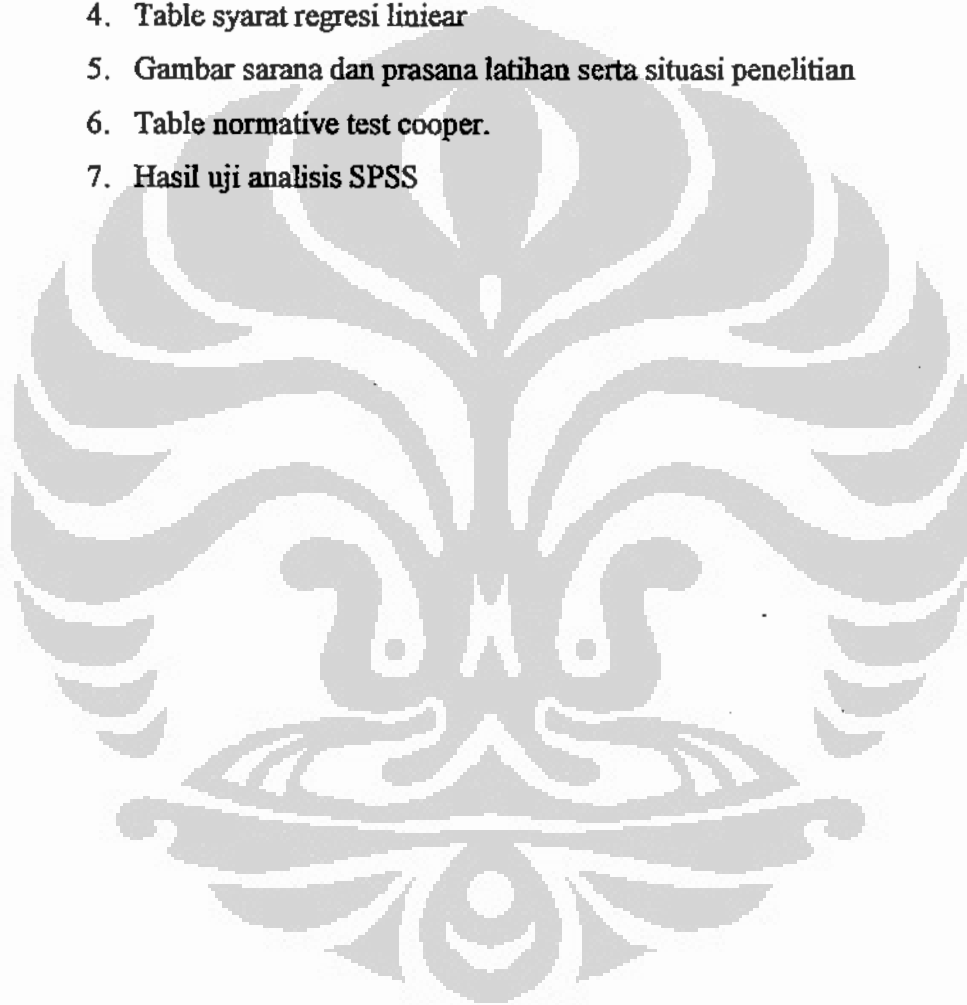
1. Files Douglas S, Webb James T, Pilmanis Andrew A , Depressurization in Military Aircraft: Rates, Rapidity, and Health Effects for 1055 Incidents , Aviation, Space, and Environmental Medicine • 2005 June Vol. 76, No. 6, Section I: p.523-8
2. Hackworth Carla A, Peterson Linda M, Jack Dan G, Williams Clara A, Hodges Blake E , Examining Hypoxia: A Survey of Pilots' Experiences and Perspectives on Altitude Training U.S. Department of Transportation 2003 May :p.1
3. Harding RM. Hypoxia and hyperventilation. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ, editors. Aviation medicine. Oxford: Butterworth Heinemann; 1999.p.43-58.
4. Cable Gordon G, In-Flight Hypoxia Incidents in Military Aircraft: Causes and Implications for Training Aviation, Space, and Environmental Medicine • 2003 February Vol. 74, No. 2 p. 169
5. Helios Airways Flight 522, Wikipedia, the free encyclopaedia [Diunduh 9 Juli 2009]. Tersedia di http://en.wikipedia.org/wiki/Helios_Flight_522 .
6. Daftar kecelakaan pesawat milik TNI kurun waktu tahun 1991-2009 . [Diunduh 29 Juni 2009]. Tersedia di <http://maubaca.com/serba-serbi/249-daftar-kecelakaan-pesawat-milik-tni.html>
7. Reinhart Richard O, The Atmosphere. In : Basic Flight Physiology, New York: Mc Graw Hill ; 2008. P. 32-44
8. Dhenin G. The Earth's Atmosphere. In: Aviation Medicine Physiology and Human Factor. London : Tri Med Books, 1978; 1-91
9. Welch B.E. The Biosphere. In: DeHart Roy, editor. Fundamental of Aerospace Medicine. Philadelphia : Lea & Febiger. 1985 p. 63-71
10. Gradwell, David P. The Earth's Atmosphere. In : Rainford, David and Gradwell David P, editors. Ernsting's Aviation medicine. New York : Edward Arnold publisher Ltd . 2006 . p. 3-12
11. Whitton Randall, Effect of Decreased of partial pressure of Oxygen on Respiratory Physiology. USAF School of Aerospace Medicine . Flight Surgeon's Guide . Volume 1. Brooks AFB, Texas. p 8-51
12. Stepanek Jan, Webb James T. Physiology of Decompressive Stress. In : Davis JR, Johnson Robert, Stepanek J, Fogarty JA, editors. Fundamentals of Aerospace Medicine. 4th Edition. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins. 2008. P. 46-8.
13. Direktorat Kesehatan TNI AU, Buku Pedoman Dokter Penerbangan TNI AU. Jakarta.1995. p.5-13
14. Reinhart Richard O, Altitude Physiology. In : Basic Flight Physiology, New York : Mc Graw Hill ; 2008. P. 50-75
15. Hall John E, Guyton Arthur C. Aviation, High-Altitude, and Space Physiology. In: Text Book of Medical Physiology. 11th edition. Philadelphia : Elsevier Saunders. 2006. P. 537-41

16. Pickard Jeb S, Gradwell David P. Respiratory Physiology and Protection against hypoxia. In : Davis JR, Johnson Robert, Stepanek J, Fogarty JA, editors. Fundamentals of Aerospace Medicine. 4th Edition. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins. 2008. P. 20-45
17. Gradwell. David P. Hypoxia and Hyperventilation. In : Rainford, David and Gradwel David P, editors. Ernsting's Aviation medicine. New York : Edward Arnold publisher Ltd . 2006 . p.41-56
18. Heimbach Richard D, Shefffield Paul J. Respiratory Pysiology. In : In: DeHart Roy, editor. Fundamental of Aerospace Medicine. Philadelphia : Lea & Febiger. 1985 p. 72-109
19. Daniel K. Berry. The Flight Environment In : Les Folio editor, Aerospace Medicine Board Essential .2nd Edition . Sacramento : WordBytes LLC . p. 13-93
20. Brock Jeff, Rod Bencke , Hipoxia In : Flight safety Australia , July 1998. P. 17-20
21. Brooks Heddwen L., Boitano Scott, Barman Susan M., Barrett Kim E. Gas Transport & pH in Lung, Respiratory Physiology. In: Ganong's Review of Medical Physiology [e-book]. 23rd Edition. McGraw-Hill Companies . 2009.
22. Rutherford Olga, Ward Jane, Ernsting John. Cardiovacular and Respiratory Physiology. In : Rainford, David and Gradwel David P, editors. Ernsting's Aviation medicine. New York : Edward Arnold publisher Ltd . 2006 . p.13-40
23. Soeria Santoso DI. Fisiologi Pernapasan dalam Penuntun Kuliah Ilmu Faal FKUI. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia . 1993. P. 1-41
24. Silbernagl Stefan, Despopoulos Agamemnon, Respiration. In : Color Atlas of Physiology 5th edition. . New York : Thieme 2003 . p. 106-36
25. M. R. Miller, D. J. Chinn, J. E. Cotes. Lung Volume , Physiology and Measurement of Lung Function . In : Lung Function Physiology, Measurement and Application in Medicine . 6th Edition. Massachusetts : Blackwell Publisher ltd. 2006. P. 111-7
26. Hall John E, Guyton Arthur C. Aviation, Pulmonary Ventilation. Respiration In: Text Book of Medical Physiology. 11th edition. Philadelphia : Elsevier Saunders. 2006. P. 471-82
27. Boitano Scott, Barman Susan M., Barrett Kim E, Brooks Heddwen. Excitable Tissue Muscle. In : Ganong's Review of Medical Physiology [e-book]. 23rd Edition. McGraw-Hill Companies . 2009.
28. Plowman, Sharon A.; Smith, Denise I. . Cardiovascular Responses to Exercise in Sharon A Plowman, editor. Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance 2nd Edition. New York Pearson Education, Inc 2003 . p. 353-80
29. Plowman, Sharon A.; Smith, Denise L . Respiration : in Sharon A Plowman, editor. Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance 2nd Edition. New York Pearson Education, Inc 2003 . p. 257-80
30. J. E. Cotes D. J. Chinn M. R. Miller. The Oxygenation of Blood In : Lung function Physiology, Measurement and Application in Medicine 6th Edition. Massachusetts : Blackwell Publisher. P. 258-73

31. Boitano Scott, Barman Susan M., Barrett Kim E, Brooks Heddwen. Blood as Circulatory The dynamic blood and lymf flow. In : Ganong's Review of Medical Physiology [e-book]. Barrett Kim E. Barman Susan M. editors. 23rd Edition. McGraw-Hill Companies . 2009.
32. Hall John E, Guyton Arthur C. Aviation, Transport of Oxygen and Carbon Dioxide in Blood and Tissue Fluids In: Text Book of Medical Physiology. 11th edition. Philadelphia : Eisevier Saunders. 2006. P. 502-13
33. Plowman, Sharon A.; Smith, Denise L . Cardiorespiratory Training Principles and Adaptations in Sharon A Plowman, editor.Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance 2nd Edition. New York Pearson Education, Inc 2003 . p. 384-413 H.
34. Billleter R, Hoppeler Muscular Basis of Strength, In : Komi Paavo V. editor. Strength and Power in sport. 2nd edition . Oxford UK : Blackwell Publisher ltd. 2003. P. 50-72
35. Hall John E, Guyton Arthur C. Aviation, Sport Physiologi In: Text Book of Medical Physiology. 11th edition. Philadelphia : Elsevier Saunders. 2006. P. 1055-66.
36. Cooper VO₂ max test, VO₂ max , [Diunduh 29 Juni 2009]. Tersedia di <http://www.brianmac.co.uk/vo2max.html>
37. Kevorkian Rafi. Physiology of Aging. In: Pathy M.S. John, Sinclair. Alan J. Morley John E. Editors. Principles and Practice of Geriatric Medicine Fourth Edition . England : John Wiley & Sons Ltd. 2006.p. 37-46
38. Dahlan Sopiudin M. Besar Sampel untuk analisis multivariate regresi linier, Besar Sampel untuk Desain Khusus dalam : Besar Sampel dan Cara Pengambilan Sampel dalam Penelitian Kedokteran dan Kesehatan. Edisi 2. Jakarta : Penerbit salemba Medika. 2009. P 79-104.
39. Dahlan Sopiudin M. Konsistensi V Menentukan Besar Sampel. Dalam Langkah-Langkah Membuat Proposal Penelitian bidang Kedokteran dan Kesehatan. Jakarta: Sagung Seto. 2008. P 62-75
40. Madiyono Bambang, Moeslichan S, Sastroasmoro Sudigdo , Budiman I, Purwanto S Harry. Perkiraan Besar Sampel dalam Sastroasmoro Sudigdo, Ismael Sofyan , Editor . Dasar-dasar Metodologi Penelitian Klinis. Edisi ke 3. Jakarta. Sagung Seto . 2008. P . 302-31
41. Tentara Nasional Indonesia ; Markas besar Angkatan Udara, Buku petunjuk Teknis tentang uji dan pemeriksaan Kesehatan. Jakarta TNI AU. 2007
42. Webster, James R, Jr. Pulmonary Disease in Cassel Christine K Edior. Geriatric Medicine An Evidence-Based Approach. Fourth Edition Springer-Verlag New York, Inc New York. 2003. P. 27 – 34
43. Boitano Scott, Barman Susan M., Barrett Kim E, Brooks Heddwen. Gas Transport & pH in the Lung. In : Ganong's Review of Medical Physiology [e-book]. Barrett Kim E. Barman Susan M. editors. 23rd Edition. McGraw-Hill Companies . 2009

LAMPIRAN

1. Lembar soal untuk Latihan Aerofisiologi Chamber flight
2. Lembar pengesahan kaji etik.
3. Tabel Interpretasi hasil uji hipotesis berdasarkan kekuatan korelasi, nilai p, dan arah korelasi
4. Table syarat regresi linier
5. Gambar sarana dan prasana latihan serta situasi penelitian
6. Table normative test cooper.
7. Hasil uji analisis SPSS



INDOKTRINASI DAN LATIHAN AEROFISIOLOGI (ILA)
CHAMBER FLIGHT

N a m a :

Pangkat/NRP :

Tgl :

1. 45
15 +

8. 65
13 +

15. 12
18 +

2. 64
35 +

9. 72
17 +

16. 36
48 +

3. 16
79 +

10. 71
41 +

17. 31
46 +

4. 53
25 +

11. 67
14 +

18. 39
43 +

5. 27
43 +

12. 57
15 +

19. 24
68 +

6. 74
23 +

13. 57
15 +

20. 25
64 +

7. 53
15 +

14. 39
19 +

$$\begin{array}{r} 1. \quad 48 \\ 34 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8. \quad 61 \\ 14 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 15. \quad 19 \\ 64 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2. \quad 23 \\ 17 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 9. \quad 71 \\ 23 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 16. \quad 42 \\ 51 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3. \quad 39 \\ 59 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10. \quad 23 \\ 54 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 17. \quad 31 \\ 45 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4. \quad 57 \\ 34 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11. \quad 27 \\ 24 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 18. \quad 39 \\ 47 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5. \quad 13 \\ 17 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 12. \quad 51 \\ 45 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 19. \quad 32 \\ 52 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6. \quad 74 \\ 23 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 13. \quad 82 \\ 15 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 20. \quad 25 \\ 64 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7. \quad 53 \\ 15 \\ \hline + \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 14. \quad 39 \\ 19 \\ \hline + \end{array}$$

1.
$$\begin{array}{r} 28 \\ 29 \\ \hline + \end{array}$$
2.
$$\begin{array}{r} 25 \\ 64 \\ \hline + \end{array}$$
3.
$$\begin{array}{r} 15 \\ 45 \\ \hline + \end{array}$$
4.
$$\begin{array}{r} 27 \\ 35 \\ \hline + \end{array}$$
5.
$$\begin{array}{r} 14 \\ 35 \\ \hline + \end{array}$$
6.
$$\begin{array}{r} 24 \\ 23 \\ \hline + \end{array}$$
7.
$$\begin{array}{r} 49 \\ 35 \\ \hline + \end{array}$$
8.
$$\begin{array}{r} 63 \\ 17 \\ \hline + \end{array}$$
9.
$$\begin{array}{r} 53 \\ 32 \\ \hline + \end{array}$$
10.
$$\begin{array}{r} 27 \\ 41 \\ \hline + \end{array}$$
11.
$$\begin{array}{r} 73 \\ 21 \\ \hline + \end{array}$$
12.
$$\begin{array}{r} 38 \\ 42 \\ \hline + \end{array}$$
13.
$$\begin{array}{r} 37 \\ 45 \\ \hline + \end{array}$$
14.
$$\begin{array}{r} 29 \\ 25 \\ \hline + \end{array}$$
15.
$$\begin{array}{r} 26 \\ 34 \\ \hline + \end{array}$$
16.
$$\begin{array}{r} 12 \\ 53 \\ \hline + \end{array}$$
17.
$$\begin{array}{r} 12 \\ 65 \\ \hline + \end{array}$$
18.
$$\begin{array}{r} 29 \\ 42 \\ \hline + \end{array}$$
19.
$$\begin{array}{r} 34 \\ 62 \\ \hline + \end{array}$$
20.
$$\begin{array}{r} 52 \\ 24 \\ \hline + \end{array}$$



UNIVERSITAS INDONESIA FAKULTAS KEDOKTERAN

Jalan Salemba Raya No. 6 Jakarta Pusat

Pos Box 1358 Jakarta 10430

Kampus Salemba Telp. 31930371, 31930373, 3922977, 3927360, 3912477, 3153236, Fax. : 31930372, 3157288, e-mail : office@fk.ui.ac.i

NOMOR : 427 IPT02.FK/ETIK/2009

KETERANGAN LOLOS KAJI ETIK

ETHICAL -- CLEARANCE

Panitia Tetap Penilai Etik Penelitian, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia dalam upaya melindungi hak asasi dan kesejahteraan subyek penelitian kedokteran, telah mengkaji dengan teliti protokol berjudul:
The Committee of The Medical research Ethics of the Faculty of Medicine, University of Indonesia, with regards of the Protection of human rights and welfare in medical research, has carefully reviewed the proposal entitled:

"Hubungan Berbagai Faktor Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di Hypobarik Chamber".

Peneliti Utama : dr. Anwar Lewa
Name of the principal investigator

Nama Institusi : Program Megister Ilmu Biomedik FKUI

dan telah menyetujui protocol tersebut di atas. *valuasi and approved the above mentioned proposal.*

Jakarta, 24 Nopember 2009



Chairman
Ketua

Prof. Dr. dr. Agus Firmansyah, SpA(K)

-Peneliti wajib menjaga kerahasiaan identitas subyek penelitian.

Penjelasan Materi latihan ILA (Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi)

Bersama ini saya informasikan bahwa Tuan-tuan datang ke Lakespra Saryanto untuk menjalani Pemeriksaan kesehatan berkala dan ILA (Indoktrinasi Latihan Aerofisiologi), Pada kesempatan ini pula izinkan saya untuk memberitahukan bahwa sebagian data-data pemeriksaan kesehatan Anda dan hasil latihan di Hypobaric Chamber akan diambil guna untuk penelitian yang berjudul :

Hubungan Umur, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di *Hypobaric Chamber*

Adapun langkah-langkah yang Tuan-tuan akan lakukan adalah sebagai berikut:

CARA KERJA PENELITIAN

Tuan-tuan melakukan pemeriksaan kesehatan berkala di klinik Aeroklinik, Aerofisiologi dan Aerosamapta di Lakespra Saryanto TNI AU. Pada penelitian ini, identitas penerbang dirahasiakan.

Di Aeroklinik (pemeriksaan Klinis) hari pertama :

Sebelum pemeriksaan, para penerbang 'puasa' selama 8-10 jam, tidak merokok, dan tidak minum kopi ataupun makan. Keesokan pagi menuju Lakespra sekitar pukul 8 dilakukan pengambilan darah di laboratorium .

Setelah itu anamnesis dan pemeriksaan umum dilakukan oleh dokter umum dan dilanjutkan dengan pemeriksaan spesialis interna, kulit, THT dan audiometric, mata, gigi, bedah, jantung dan EKG, roentgen toraks, paru (spirometri) dan ultrasonografi . Dari Pemeriksaan di Aeroklinik ini data Tuan-tuan yang diambil adalah nilai Hb darah dan FVC dan FEV₁ (hasil spirometri).

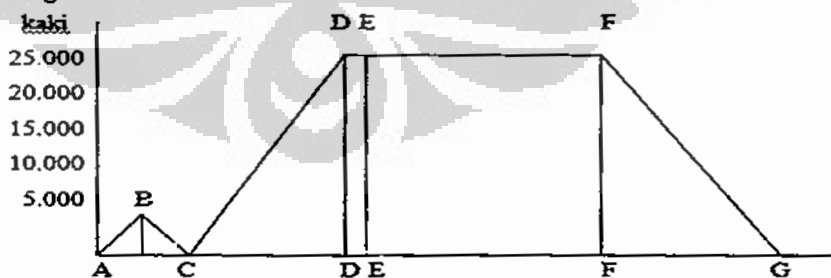
Di klinik Aerofisiologi (demonstrasi hipoksia) hari kedua :

Para penerbang pukul 9 pagi , berkumpul untuk mengikuti briefing (pengarahan) sebelum melakukan latihan di Hypobaric chamber (RUBR), BOT (*Basic Orientation Training*), HC (*Human Centrifuge*), *Ejection Training*, HUET (*Helicopter Underwater Egress Training*).

Dengan mengikuti briefing diharapkan Tuan-tuan akan mengerti aspek fisiologis lingkungan penerbangan terhadap faal tubuh penerbang itu sendiri. Selain itu diterangkan apa risiko-risiko yang mungkin dihadapi dalam tugas di lingkungan ketinggian, mengenali risiko tersebut secara subyektif dan obyektif dan cara-cara mengantisipasinya.

Untuk penelitian ini difokuskan pada latihan di hypobaric chamber (RUBR) yang pelaksanaannya sebagai berikut:

1. Peserta Latihan Aerofisiologi, mengikuti briefing.
2. Tuan-tuan masuk ke dalam RUBR dan duduk berdampingan dengan rekannya (*buddy*) dengan masing-masing memasang perangkat oksigen. Setiap kali penerbangan di RUBR didampingi oleh *inside observer* (petugas RUBR) 2 – 3 orang.
3. Sebelum terbang simulasi ke ketinggian 25.000 kaki (7.620 m), terlebih dahulu dilakukan sinus dan ear tube check, yaitu RUBR di terbangkan pada ketinggian 5000 kaki (1.525 m) dengan kecepatan 3.000-4.000 kaki/menit, kemudian turun kembali ke permukaan laut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi *ear* atau *sinus block* akibat perubahan ketinggian. Bila Tuan-tuan terdapat keluhan nyeri di hidung, telinga, atau dahi maka Tuan-tuan tidak diikutkan penelitian.
4. Selanjutnya Tuan-tuan disimulasikan terbang sampai mencapai ketinggian 25.000 kaki (7.620 m) dengan memakai masker oksigen
5. Untuk menentukan Waktu sadar Efektif (WSE) dengan menggunakan stopwatch, Tuan-tuan disimulasikan terbang hingga mencapai ketinggian 25.000 kaki (7.620 m). Setelah mencapai ketinggian tersebut subyek melepas masker dan diminta mengerjakan soal penjumlahan secara vertical sepasang angka random dua digit untuk ini Tuan-tuan menerima 10 lembar yang tiap lembarnya terdiri dari 20 soal penjumlahan sehingga keseluruhan mencapai 200 soal. Setiap 30 detik pengawas di luar chamber memberikan abab-aba "lembar dibalik" sehingga subyek membalik soalnya dan mengerjakan lembar berikutnya. Menentukan titik akhir WSE adalah apabila Tuan-tuan salah menjawab soal 2 kali berturut-turut atau diam/ tidak mengerjakan soal test selama 15 detik atau tidak mampu lagi mengerjakan perintah pengawas. Pengawas di luar mencatat waktu setiap Tuan-tuan yang berhenti/dihentikan latihannya. Selesai mengerjakan soal mereka diturunkan kembali ke ketinggian *sea level* (permukaan laut).
6. Test RUBR yang dilakukan diatas mengikuti profil RUBR seperti tampak pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 Profil terbang di Ruang Udara Bertekanan Rendah

Keterangan:

A,B, C : Ear tube dan sinus check

- C,D : Naik ke ketinggian 25.000 kaki (7.620 m) dengan kecepatan 3.000 – 4.000 kaki/menit, subyek memakai masker O₂
- D : Subyek melepas masker O₂
- E,F : Subyek mengerjakan soal
- F,G : Turun ke ketinggian sea level dengan kecepatan 3.000-4.000 kaki/menit

Di klinik Samapta Lakespra TNI AU (hari ke 3) :

Tuan-tuan melakukan tes samapta A dan B.

Tes samapta A yaitu subyek melakukan lari di lapangan jogging track berbentuk persegi panjang yang berjarak 250 m selama 12 menit. Kemudian dilakukan pencatatan jarak tempuh yang dicapai selama 12 menit.

Tes Samapta B yaitu subyek melakukan tes *Push Up, Pull Up, Sit Up dan shuttle run*. Untuk penelitian ini data yang diambil berasal dari tes samapta A yaitu jarak yang ditempuh selama melakukan aktifitas lari 12 menit yang hasilnya akan dikonversikan dengan rumus Cooper untuk mendapatkan nilai VO₂max.

Demikian Langkah-langkah yang Tuan-tuan akan lakukan, Tuan-tuan secara sukarela untuk ikut sebagai peserta/subyek dalam penelitian dan berhak menolak pertanyaan-pertanyaan, perlakuan-perlakuan yang diberikan kepada Tuan-tuan dan setiap saat boleh tidak melanjutkan ketidak ikut sertaan Tuan-tuan tanpa dikenakan sanksi atau hukuman.

Hasil wawancara dan pemeriksaan diri Tuan-tuan akan dirahasiakan, dan tidak merupakan laporan tunggal tentang diri Tuan-tuan, tetapi disatukan dengan hasil seluruh peserta/subyek dalam penelitian ini.

Jika masih ada pertanyaan silahkan menghubungi kami di telp : 02132617125 (dr Anwar Lewa)

Peneliti/Pewawancara


Dr Anwar Lewa

INFORMED CONCENT
(PERNYATAAN PERSETUJUAN)

Yang Bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Pangkat / NRP :
Kesatuan :

Menyatakan bahwa :

1. Bagian Program Studi Ilmu Biomedik Kekhususan Fisiologi Universitas Indonesia telah memberitahukan tentang pengamatan ilmiah "Hubungan Umur, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di *Hypobaric Chamber*" yang akan dipakai untuk mengetahui parameter fisiologis dan meneliti korelasinya terhadap waktu sadar efektif agar pemilihan personil yang mengawaki pesawat terbang adalah orang yang tepat sehingga kecelakaan pesawat terbang bisa dihindari.
2. Sehubungan dengan hal tersebut diatas saya bersedia secara sukarela untuk ikut sebagai peserta/subyek dalam penelitian dan mengikuti prosedur penelitian yang meliputi : wawancara jati diri, riwayat penyakit, pemeriksaan fisik, laboratorium (Hb), tes spirometri, tes kesamaptaaan jasmani, dan simulasi terbang dalam RUBR.
3. Saya berhak menolak pertanyaan-pertanyaan , perlakuan-perlakuan yang diberikan kepada saya dan setiap saat boleh tidak melanjutkan ketidak ikut sertaan saya tanpa dikenakan sanksi atau hukuman.
4. Saya memahami bahwa hasil wawancara dan pemeriksaan diri saya akan dirahasiakan, dan tidak merupakan laporan tunggal tentang diri saya, tetapi disatukan dengan hasil seluruh peserta/subyek dalam penelitian ini.
5. Saya memahami bahwa saya dapat mengajukan pertanyaan apapun tentang pengamatan ilmiah ini.

Peserta

Pewawancara/peneliti


dr Anwar Lewa

Tgl :

Saksi 1. _____ 2. _____

Tabel Syarat Regresi Linier

Komponen	Syarat	Kata Kunci	Cara mendeteksi
Variabel independen dan dependen	Hubungan variable independen dan dependen harus linier	Linier	Membuat grafik scatter plot antara variable dependen. Scatter harus berada di sekitar garis diagonal.
Residu	Residu mempunyai distribusi yang normal	Normal	Membuat grafik histogram dari residu atau dengan uji normalitas. Histogram dari residu harus berdistribusi normal. Uji normalitas mempunyai nilai $p > 0.05$
Residu	Residu mempunyai rerata sebesar 0	Mean = 0	Membuat statistic deskripsi dari residu Mean residu harus = 0
Residu - Variabel independen	Residu tidak mempunyai korelasi yang kuat dengan variable independen	Independen	Membuat korelasi antara residu dengan variable independen atau dengan uji Durbin-Watson. Korelasi residu dengan var independen harus , 0.8. nilai Durbin Watson sekitar 2.
Residu-variabel independen	Varian dari residu konstan	Konstan	Membuat scatter plot antara standardized residual dengan standardized predicted value
Variabel independen	Tidak ada korelasi yang kuat antara variable independen	Autokorelasi	Membuat korelasi antara variable independen atau dengan collinierrity diagnostic. Korelasi antara variable independen harus < 0.8 . Nilai tolerance pada collinierrity diagnostic > 0.4

**Tabel Interpretasi hasil uji hipotesis berdasarkan kekuatan korelasi, nilai p,
dan arah korelasi**

No	Parameter	Nilai	Interpretasi
1	Kekuatan korelasi (r)	0,00-0,199 0,20-0,399 0,40-0,599 0,60-0,799 0,80-1,000	Sangat lemah Lemah Sedang Kuat Sangat Kuat
2	Nilai p	P < 0,05 P > 0,05	Terdapat korelasi yang bermakna antara dua variable yang diuji Tidak terdapat korelasi yang bermakna antara dua variable yang diuji
3	Arah korelasi	+ (positif) - (negatif)	Searah, semakin besar nilai satu variable semakin besar pula nilai variable lainnya. Berlawanan arah. Semakin besar nilai satu variable, semakin kecil nilai varabel lainnya.



Gambar Spirometer yang dipakai



Gambar Hemoanalizer yang di pakai.



Gambar Stopwath diperlukan untuk menentukan waktu sadar efektif dan tes uji lari 12 menit.



Gambar Lapangan yang dipakai sebagai trak lari.



Gambar Hipobaric Chamber , RUBR, merupakan alat simulator untuk menciptakan lingkungan tekanan barometer sesuai dengan ketinggian yang diharapkan.



Gambar situasi ruangan dalam hypobaric chamber (RUBR).





Gambar situasi di ruang hipobarik chamber saat penelitian berlangsung.



Gambar salah seorang subjek yang mengerjakan tugas soal matematika ringan

Normative data for the Cooper Test

Age	Excellent	Above Average	Average	Below Average	Poor
Male 13-14	>2700m	2400-2700m	2200-2399m	2100-2199m	<2100m
Females 13-14	>2000m	1900-2000m	1600-1899m	1500-1599m	<1500m
Males 15-16	>2800m	2500-2800m	2300-2499m	2200-2299m	<2200m
Females 15-16	>2100m	2000-2100m	1700-1999m	1600-1699m	<1600m
Males 17-19	>3000m	2700-3000m	2500-2699m	2300-2499m	<2300m
Females 17-20	>2300m	2100-2300m	1800-2099m	1700-1799m	<1700m

The following table rates performance for athletes:

Age	Excellent	Above Average	Average	Below Average	Poor
Male 20-29	>2800m	2400-2800m	2200-2399m	1600-2199m	<1600m
Females 20-29	>2700m	2200-2700m	1800-2199m	1500-1799m	<1500m
Males 30-39	>2700m	2300-2700m	1900-2299m	1500-1999m	<1500m
Females 30-39	>2500m	2000-2500m	1700-1999m	1400-1699m	<1400m
Males 40-49	>2500m	2100-2500m	1700-2099m	1400-1699m	<1400m
Females 40-49	>2300m	1900-2300m	1500-1899m	1200-1499m	<1200m
Males >50	>2400m	2000-2400m	1600-1999m	1300-1599m	<1300m
Females >50	>2200m	1700-2200m	1400-1699m	1100-1399m	<1100m

The following table can be used with experienced athletes:

Gender	Excellent	Above Average	Average	Below Average	Poor
Male	>3700m	3400-3700m	3100-3399m	2800-3099m	<2800m
Females	>3000m	2700-3000m	2400-2999m	2100-2399m	>2100m

Table data normatif untuk uji Cooper³⁶

Normative data for VO₂max

Female (values in ml/kg/min)

Age	Very Poor	Poor	Fair	Good	Excellent	Superior
13-19	<25.0	25.0 - 30.9	31.0 - 34.9	35.0 - 38.9	39.0 - 41.9	>41.9
20-29	<23.6	23.6 - 28.9	29.0 - 32.9	33.0 - 36.9	37.0 - 41.0	>41.0
30-39	<22.8	22.8 - 26.9	27.0 - 31.4	31.5 - 35.6	35.7 - 40.0	>40.0
40-49	<21.0	21.0 - 24.4	24.5 - 28.9	29.0 - 32.8	32.9 - 36.9	>36.9
50-59	<20.2	20.2 - 22.7	22.8 - 26.9	27.0 - 31.4	31.5 - 35.7	>35.7
60+	<17.5	17.5 - 20.1	20.2 - 24.4	24.5 - 30.2	30.3 - 31.4	>31.4

Male (values in ml/kg/min)

Age	Very Poor	Poor	Fair	Good	Excellent	Superior
13-19	<35.0	35.0 - 38.3	38.4 - 45.1	45.2 - 50.9	51.0 - 55.9	>55.9
20-29	<33.0	33.0 - 36.4	36.5 - 42.4	42.5 - 46.4	46.5 - 52.4	>52.4
30-39	<31.5	31.5 - 35.4	35.5 - 40.9	41.0 - 44.9	45.0 - 49.4	>49.4
40-49	<30.2	30.2 - 33.5	33.6 - 38.9	39.0 - 43.7	43.8 - 48.0	>48.0
50-59	<26.1	26.1 - 30.9	31.0 - 35.7	35.8 - 40.9	41.0 - 45.3	>45.3
60+	<20.5	20.5 - 26.0	26.1 - 32.2	32.3 - 36.4	36.5 - 44.2	>44.2

Tabel data normatif VO₂max³⁶

Table deskripsi berbagai variable

Statistics

	Umur	Pangkat	WSE	Hemoglobin	Persentase FVC thdp Referensi	Persentase FEV1 / FVC	VO2max
Valid	45	45	45	45	45	45	45
Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mean	31.11		267.89	15.951	87.20	85.33	37.8987
Median	30.00		280.00	16.200	85.00	86.00	37.4500
Mode	24 ^a		300	16.2	82 ^a	86	33.42 ^a
Std. Deviation	5.519		34.747	.9507	6.434	4.996	5.06608
Variance	30.465		1207.374	.904	41.391	24.963	25.665
Skewness	.421		-1.296	-.761	.558	-.365	.321
Std. Error of Skewness	.354		.354	.354	.354	.354	.354
Kurtosis	-.483		2.068	-.162	-.221	-.774	.166
Std. Error of Kurtosis	.695		.695	.695	.695	.695	.695

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Table uji normalitas data

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Umur	.105	45	.200	.946	45	.035
Hemoglobin	.137	45	.035	.921	45	.005
Persentase FVC thdp Referensi	.145	45	.019	.952	45	.058
Persentase FEV1 / FVC	.140	45	.027	.954	45	.073
VO2max	.090	45	.200	.982	45	.683

a. Lilliefors Significance Correction

*. This is a lower bound of the true significance.

Correlations

		Persentase FEV1 / FVC	WSE
Persentase FEV1 / FVC	Pearson Correlation	1	.086
	Sig. (2-tailed)		.575
	N	45	45
WSE	Pearson Correlation	.086	1
	Sig. (2-tailed)	.575	
	N	45	45

Correlations

		VO2max	WSE
VO2max	Pearson Correlation	1	.346*
	Sig. (2-tailed)		.020
	N	45	45
WSE	Pearson Correlation	.346*	1
	Sig. (2-tailed)	.020	
	N	45	45

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	368.429	136.810		2.693	.010		
	Umur	-4.563	1.139	-.725	-4.005	.000	.284	3.524
	Hemoglobin	2.339	6.820	.064	.343	.733	.267	3.745
	VO2max	.109	.750	.016	.145	.885	.779	1.284
2	(Constant)	368.855	135.175		2.729	.009		
	Umur	-4.569	1.125	-.726	-4.060	.000	.284	3.519
	Hemoglobin	2.582	6.534	.071	.395	.695	.284	3.519
3	(Constant)	421.755	18.762		22.479	.000		
	Umur	-4.946	.594	-.786	-8.326	.000	1.000	1.000

a. Dependent Variable: WSE

Table untuk menilai kualitas persamaan yang diperoleh dapat dinilai dengan melihat hasil uji Anova dan Model Summary

Model Summary^d

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.787 ^a	.619	.591	22.225	
2	.787 ^b	.619	.600	21.964	
3	.786 ^c	.617	.608	21.748	1.648

a. Predictors: (Constant), VO2max, Umur, Hemoglobin

b. Predictors: (Constant), Umur, Hemoglobin

c. Predictors: (Constant), Umur

d. Dependent Variable: WSE

ANOVA^d

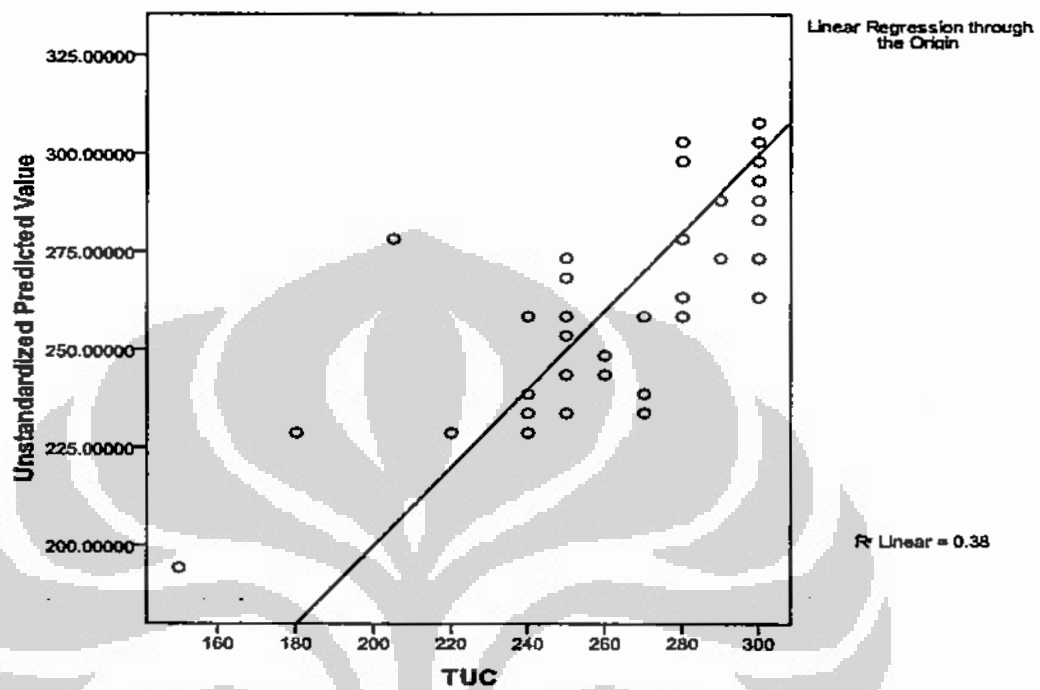
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	32873.045	3	10957.682	22.184	.000 ^a
	Residual	20251.399	41	493.937		
	Total	53124.444	44			
2	Regression	32862.649	2	16431.325	34.060	.000 ^b
	Residual	20261.795	42	482.424		
	Total	53124.444	44			
3	Regression	32787.285	1	32787.285	69.324	.000 ^c
	Residual	20337.160	43	472.957		
	Total	53124.444	44			

a. Predictors: (Constant), VO2max, Umur, Hemoglobin

b. Predictors: (Constant), Umur, Hemoglobin

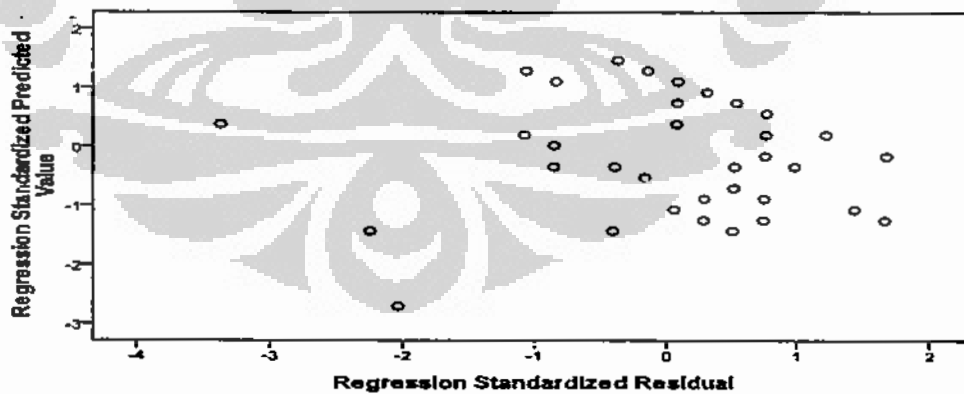
c. Predictors: (Constant), Umur

d. Dependent Variable: WSE



Scatterplot

Dependent Variable: TUC



Descriptives

		Statistic	Std. Error	
Standardized Residual	Mean	.0000000	.14736747	
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-.2969996	
		Upper Bound	.2969996	
	5% Trimmed Mean	.0599107		
	Median	.0867844		
	Variance	.977		
	Std. Deviation	.98857105		
	Minimum	-3.37186		
	Maximum	1.67868		
	Range	5.05054		
	Interquartile Range	1.04334		
	Skewness	-1.125	.354	
	Kurtosis	2.335	.695	

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual	.145	45	.019	.925	45	.007

a. Lilliefors Significance Correction

Correlations

		Umur	Unstandardized Residual
Umur	Pearson Correlation	1	.000
	Sig. (2-tailed)		1.000
	N	45	45
Unstandardized Residual	Pearson Correlation	.000	1
	Sig. (2-tailed)	1.000	
	N	45	45

Correlations

		Hemoglobin	Unstandardized Residual
Hemoglobin	Pearson Correlation	1	.032
	Sig. (2-tailed)		.832
	N	45	45
Unstandardized Residual	Pearson Correlation	.032	1
	Sig. (2-tailed)	.832	
	N	45	45

Correlations

		VO2max	Unstandardized Residual
VO2max	Pearson Correlation	1	.034
	Sig. (2-tailed)		.827
	N	45	45
Unstandardized Residual	Pearson Correlation	.034	1
	Sig. (2-tailed)	.827	
	N	45	45

BIODATA PENULIS

Nama : **Anwar Lewa**
Tempat/tanggal lahir : Makassar/ 3 April 1976
Pekerjaan : Pama Lakespra Saryanto TNI AU
Pangkat/Korps/NRP : Kapten Kes/ 529220
Alamat Kantor : Klinik Aerofisiologi Lakespra Saryanto
 TNI AU
 Jl MT. Haryono Kav 45 Jakarta Selatan
Alamat Rumah : Jl Cendrawasih IX/GA 1
 (telp 02132617125)
 Komplek Lanud Halim Perdana Kusuma
 Jakarta Timur
E-mail : dr.anwar.lewa@gmail.com
No Pokok Mahasiswa : 0606150694



Riwayat Pendidikan formal

1982 – 1988 : SD Merdeka Jaya, Makassar
 1988 – 1991 : SMP NEG 5 , Makassar
 1991 – 1994 : SMA NEG 1, Makassar
 1994 – 2001 : Fakultas Kedokteran, Universitas Hasanuddin
 Makassar
 2001 - 2002 : Sekolah Pertama Perwira PK Angkatan ke VII

Pengalaman Penelitian

Judul	Tempat	Tahun
Pengaruh kontrasepsi Pil, Suntikan, IUD, Implant (susuk) Terhadap risiko terjadinya Hipertensi pada masyarakat kabupaten Tana Toraja	Kabupaten Tana Toraja	2000

Riwayat Pekerjaan

No	Jabatan / Institusi	Tahun	Tempat
1	Pama Wingdikum	2002	Jakarta
2	Kepala Dukungan Kesehatan Lanud Manuhua	2002-2005	Biak Papua
3	Kepala Ur. Refraksi Klinik Mata Lakespra	2005	Jakarta
4	Tenaga kesehatan Satuan Tugas Tanggap Darurat Gempa Nias, Pusat Kesehatan TNI	2005	Nias Sumut
5	Pama Lakespra	2007	Jakarta

Biaya penelitian tesis : didukung oleh Lakespra Saryanto, Dir Kes Ditjend Kuathan Dephan dan peneliti sendiri.

Draft Artikel Majalah Kedokteran Indonesia

Hubungan Umur, Hb, VO₂max, FVC dan FEV₁/FVC Terhadap Waktu Sadar Efektif Penerbang TNI AU di Hypobaric Chamber

Dolly RD Kaunang*, Dewi Irawati[^], Anwar Lewa.*

*Lakespra Saryanto TNI AU (Lembaga Kesehatan Penerbangan & Antariksa)

[^] Departemen Fisiologi Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

Meskipun kondisi pesawat terbang saat ini sudah mengalami modernisasi dengan otomatisasi dan disertai dengan kabin bertekanan. Bukan berarti menyingkirkan bahaya hipoksia di dalam dunia penerbangan. Terbukti dengan masih banyaknya angka kecelakaan yang disebabkan oleh karena sebab hipoksia yang terutama disebabkan karena kegagalan sistem kabin bertekanan. Bahaya hipoksia dibidang penerbangan dapat menyebabkan inkapasitas bagi penerbangnya sehingga accident adalah hasil akhirnya. Manusia tidak memiliki sistem peringatan dini untuk mengenali adanya hipoksia, sehingga diperlukan pengalaman dalam demonstrasi yang dilakukan di hipobarik chamber. Hasil dari pengalaman itulah yang diharapkan dalam latihan ILA yang diselenggarakan oleh Lakespra Saryanto TNI AU untuk dapat segera mengantisipasi ketika terjadi situasi hipoksia baik yang disengaja ataupun tak disengaja. Metode yang digunakan adalah sbb 45 orang perwira penerbang dari berbagai usia melaksanakan latihan demonstrasi hipoksia di hipobarik chamber di FL 250 lalu melaksanakan tugas hitungan matematika ringan dalam jangka waktu 5 menit. Setiap subjek yang berhenti ditengah selang waktu tsb maka saat itulah waktu sadar efektif (WSE) dicatat. Sebagai parameter fisiologi yang ingin dicari adalah umur, Hb, persentase FVC terhadap ref, persentase FEV₁/FVC, dan VO₂max sebagai variabel independen untuk dicari korelasinya dengan WSE. Setelah diketahui korelasi masing-masing variabel dilakukan analisis multivariat untuk menilai faktor dan kekuatan korelasi dan untuk mendapatkan model.

Hasil menunjukkan Variabel independen sebagai parameter fisiologis yang memiliki korelasi bermakna ($p < 0,005$) dengan urutan dari yang terkuat adalah umur ($r = -0,786$), Hb ($r = 0,685$), VO₂ max ($r = 0,346$). Model yang di dapatkan adalah :

WSE (detik) = $368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$

Kesimpulan: Dengan diketahuinya model dalam memprediksikan WSE maka akan sangat membantu dalam proses pemilihan dan-pembinaan personel dan diharapkan dapat menurunkan angka kejadian kecelakaan akibat hipoksia.

Kata kunci: Waktu Sadar efektif, hipoksia, VO₂max, FEV₁, FVC, Hb, Aging, hipobarik chamber, Lakespra Saryanto

The Correlation between Age, Hb, VO₂max, FVC, FEV₁/FVC and Time Useful Consciousness Indonesian Air Force Pilot in Hypobaric Chamber

Dolly RD Kaunang*, Dewi Irawati[^], Anwar Lewa.*

*Lakespra Saryanto TNI AU (Aerospace Medicine Institute Saryanto Indonesian Air Force)

[^]Departemen of Physiology, Faculty of Medicine, University of Indonesia

Even though the condition of the aircrafts have been modernized with automatically equipment and pressured cabin. It doesn't meant we can neglect the danger of hypoxia in aviation as there are a large number of accident had occurred, caused by hypoxia, particularly due to failure of the system of pressured cabin. The danger of hypoxia in aviation can cause the pilots are incapacity then they can get accident. Human doesn't own early warning system to identify hypoxia so it requires experience to demonstrate in hypobaric chamber. The result of experience are obtained during hopefully. The

Universitas Indonesia

training of ILA which is held in Lakespra Saryanto; Indonesian Air Force on the purpose of anticipating the danger of hypoxia whether it occurs consciously or not.

Method : 45 Pilot officers with different ages conduct the training of Hypoxia demonstration in Hypobaric Chamber at FL 250, to complete the test in the form of moderate mathematics in five minute. Every single subject which stops in the mid of time that's the TUC recorded. As parameter of physiology being observed are ages, Hb, percentage of FVC to the reference, percentage of FEV1/FVC, and VO2 max as independent variable to find the correlation with TUC. After finding the correlation of each variable, then there's analysis of multivariate to score the factors, the strength of correlation, and find the model.

Result:Independent variable as the parameter of physiology which has correlation equal to ($p < 0,005$) ages is the strongest ($r = -0,786$), Hb ($r = 0,685$) and VO2 max ($r = 0,346$). The models resulted are as follow:

$TUC \text{ (seconds)} = 368,429 - 4,563 \text{ (age)} + 2,339 \text{ (Hb)} + 0,109 \text{ (VO2 max)}$

Conclusion : After we found the model of predicting TUC, hopefully it can help to selecting and manage the personnel, finally it can reduce the number of accident due to the danger of hypoxia

Key words:

TUC, hypoxia, VO2 max, FEV1/FVC, FVC, Hb, Aging, Hypobaric Chamber, Lakespra Saryanto



Pendahuluan

Terbang di ketinggian beberapa ribu meter bukan menjadi sesuatu yang tidak mungkin lagi karena pesatnya perkembangan teknologi penerbangan akan tetapi terbang di ketinggian juga dihadapkan dengan risiko hipoksia. Saat ini pesawat dengan sistem kabin bertekanan akan melindungi penerbang serta penumpang ketika berada di ketinggian, tetapi jika terdapat kegagalan dalam peralatan tersebut maka kehilangan tekanan dalam kabin dapat terjadi dan penerbang haruslah bersiap apa yang harus dilakukan dan apa yang dapat terjadi akibat hipoksia dalam situasi tersebut.¹

Hipoksia akut merupakan risiko yang sangat serius selama penerbangan dan hal ini terus berlangsung hingga saat ini (Harding, 1999)². *Data Statistic National Transportation Safety Board (NTSB) Amerika Serikat* mengungkapkan antara tahun 1965 hingga 1990, terdapat 40 kecelakaan pesawat terbang yang disebabkan hipoksia, dan berakibat 67 orang meninggal dunia. Di saat yang sama USAF melaporkan 1 kejadian kecelakaan dan 1 orang yang meninggal dunia.³

Mengingat dampak yang ditimbulkan dari kecelakaan pesawat, maka diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi khususnya yang berkaitan dengan hipoksia (hipoksia dibidang penerbangan). Hipoksia dapat menyebabkan gangguan penglihatan, pengambilan keputusan, kontrol motorik dan semua ini menyebabkan inkapasitasi dan apabila kasus yang berat dapat menyebabkan kematian. Oleh karena itu maka diperlukan latihan untuk mengenal tanda-tanda subyektif maupun obyektif hipoksia penerbangan sehingga apabila kru dihadapkan dengan situasi hipoksia akan dengan mudah mengantisipasinya.⁴

Hal ini menjadi perhatian dalam tesis ini karena terdapat operasi militer tertentu yang mengharuskan pilot maupun kru yang lain akan terpajan secara langsung kondisi hipoksia, misalnya dalam operasi penerjunan pasukan di posisi ketinggian 25.000 kaki (7.620 m) MSL (Mean Sea Level) di atas permukaan laut. Oleh sebab itu diperlukan kondisi tubuh yang fit untuk menghadapi situasi tersebut.⁴

Terdapat pula survey terhadap pilot dengan berbagai latar belakang penerbangan sipil dan militer yang telah melaksanakan latihan hipobarik chamber (RUBT, Ruang udara Bertekanan Rendah) dan menghasilkan kesimpulan rata-rata (diatas 70%) pilot berpendapat pentingnya latihan hipobarik chamber baik itu latihan awal hipobarik chamber maupun latihan periodik hipobarik chamber (Hackworth Carla, Peterson Linda dkk, 2003).¹

Berbagai faktor yang ingin diteliti adalah faktor-faktor fisiologis yang berkenaan dengan kesehatan Pilot TNI AU. Faktor-faktor tersebut akan sangat

berguna, dalam pemilihan personil yang akan ditugaskan dalam operasi-operasi khusus yang faktor risiko / hazard adalah hipoksik hipoksia. Faktor-faktor fisiologis tsb didapat melalui pemeriksaan kesehatan berkala di Lakespra Saryanto TNI AU. Faktor yang akan di teliti disini adalah Hb, VO_2 max dan umur serta fungsi faal paru yaitu FVC dan FEV_1/FVC . Diharapkan dari penelitian ini akan mengungkapkan korelasi multifaktorial terhadap waktu sadar efektif (WSE). Sehingga hasil ini dapat dipakai sebagai instrumen oleh *flight surgeon* (dokter yang bertugas di skuadron) atau dokter penerbangan sipil untuk menyeleksi penerbang yang pantas dalam operasi tertentu, maupun dalam peningkatkan kemampuan faali dari pilot itu sendiri.

Atmosfer dibagi dalam beberapa lapisan yang mengelilingi bumi, gambarannya mirip dengan lapisan bawang. Istilah *sphere* menggambarkan lapisan aktual udara dan istilah *pause* menggambarkan batas terluar dari lapisan tersebut yang berbatasan dengan lapisan berikutnya. Densitas atmosfer akan semakin bertambah jika semakin rendah tempat tersebut.⁵⁻⁹

atmosfer juga dapat dibagi menjadi zona yang memiliki efek fisiologis terhadap tubuh manusia. Berdasarkan sifat-sifat fisiologis atmosfer dibagi menjadi tiga daerah yaitu:

3. Daerah fisiologis (*physiological efficient zone*)

Daerah ini terbentang mulai dari permukaan bumi hingga ke ketinggian 10.000 kaki (3048 m). Di daerah ini manusia praktis tidak mengalami perubahan faal tubuh yang berarti, walaupun pada ketinggian 5000 kaki (1525 m) daya adaptasi gelap memanjang disertai gangguan penglihatan warna.

4. Daerah kurang fisiologis (*physiological defficient zone*)

Daerah ini memiliki risiko untuk terjadinya hipoksia, *trapped gas* (udara terperangkap) dan *evolved gas*. Daerah ini terbentang mulai ketinggian di atas 10.000 kaki – 50.000 kaki (3.048-15.240 m). Diatas dari ketinggian tersebut, manusia tak dapat hidup kecuali terdapat kabin/pakaian bertekanan beserta bantuan oksigen.^{5,8}

Metode

Penelitian ini menakai desain uji klinis tanpa pembandingan, untuk mengetahui korelasi berbagai faktor terhadap waktu sadar efektif. Sebagaimana diketahui bahwa faktor-faktor yang akan diteliti adalah : Hb, umur, FVC, FEV_1/FVC , dan VO_2 max. Dari berbagai faktor tsb dilakukan analisis multivariat untuk mempelajari korelasi antar beberapa faktor dengan waktu sadar efektif .

Untuk menentukan Waktu sadar Efektif (WSE) dengan menggunakan stopwatch, subjek disimulasikan terbang dengan hipobarik chamber hingga mencapai ketinggian 25.000 kaki. Setelah mencapai ketinggian tersebut subjek

melepas masker dan diminta mengerjakan soal penjumlahan secara vertical sepasang angka random dua digit untuk ini subjek menerima 10 lembar yang tiap lembarnya terdiri dari 20 soal penjumlahan sehingga keseluruhan mencapai 200 soal. Setiap 30 detik pengawas di luar chamber memberikan aba-aba "lembar dibalik" sehingga subjek membalik soalnya dan mengerjakan lembar berikutnya. Menentukan titik akhir WSE adalah apabila subjek salah menjawab soal 2 kali berturut-turut atau diam/ tidak mengerjakan soal test selama 15 detik atau tidak mampu lagi mengerjakan perintah pengawas. Pengawas di luar mencatat waktu setiap subjek yang berhenti/dihentikan latihannya. Selesai mengerjakan soal mereka diturunkan kembali ke ketinggian *sea level* (permukaan laut).

Hasil

Penelitian ini memperlihatkan variabel *independent* dengan nilai korelasi (r) yang terkuat adalah umur (-0.786), hemoglobin (0.685) dan terakhir $VO_2\max$ (0.346), dengan nilai signifikansi $p < 0.05$. Ketiga variable tsb di atas yang memenuhi syarat untuk dimasukkan ke dalam analisis regresi linier (syarat nilai $p < 0.25$). Hasil dari analisis regresi linier dihasilkan model (rumus) berikut ini.

$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\max)$$

Pembahasan

Bertambahnya usia memiliki kaitan yang erat dengan proses *aging* (penuaan) secara umum fisiologi dari keseluruhan sistem organ mengalami proses aging tanpa kecuali. Untuk masalah di bidang penelitian ini peneliti berfokus pada sistem kardiorespirasi. Terdapat berbagai perubahan fisiologi yang berkaitan dengan sistem kardiovaskuler dan sistem pulmonar.¹⁰

Apabila darah diseimbangkan dengan 100% O_2 ($PO_2 = 760$ mmHg), hemoglobin normal akan tersaturasi 100%. Pada keadaan tersaturasi penuh, setiap gram hemoglobin normal mengandung 1.39 mL O_2 . Namun, di dalam darah umumnya terdapat sejumlah kecil derivat hemoglobin yang inaktif, dan nilai yang diperoleh *in vivo* umumnya lebih rendah. Nilai yang lazim diperoleh ialah 1.34 mL O_2 . konsentrasi hemoglobin dalam darah normal adalah sekitar 15 g/dL (14 g/dL pada wanita dan 16 g/dL pada pria. Dengan demikian, 1 dL darah mengandung 20.1 mL (1.34 mL x 15) O_2 yang terikat pada hemoglobin, yaitu apabila saturasi hemoglobin 100%. Jumlah O_2 yang larut dalam darah merupakan fungsi linier dari P_{O_2} (0,003 mL/dL darah/ mmHg P_{O_2}).¹¹⁻¹⁵

Dari data penelitian ini dengan bertambahnya nilai Hb maka semakin besar nilai WSE begitu pula sebaliknya, hal ini sesuai dengan teori klasifikasi hipoksia

yaitu hipemik (anemic) hypoksia. Hipoksia yang disebabkan oleh berkurangnya kadar Hb sebagai alat transport O₂ di darah dan jaringan.

VO₂ max adalah volume maksimum dari oksigen dalam satuan milliliter yang dapat digunakan per kilogram berat badan saat bernapas di ketinggian *sea level*. Komsumsi oksigen akan setara secara linier dengan kebutuhan energy, oleh karena itu ketika kita mengukur komsumsi oksigen, maka secara tidak langsung kita dapat mengukur kapasitas maksimum individu untuk bekerja secara aerobik. Nilai yang lemah ini disebabkan sistem pengangkutan oksigen, karbondioksida, dan nutrien menuju ke sel-sel sangat dipengaruhi 4 sistem yaitu kardio, vaskuler, pulmonar, dan darah. Jantung sebagai alat pompa mendorong oksigen melalui sistem pembuluh darah yang berasal paru untuk diedarkan ke seluruh sel-sel tubuh yang membutuhkan. Kemudian dengan hasil korelasi yang tidak bermakna di pemeriksaan uji fungsi paru (FVC dan FEV1) mengakibatkan nilai variabel ini (VO₂ max) jadi ikut terpengaruh. Sehingga memperkecil kekuatan korelasi dari VO₂ max. Ditambah lagi dengan adanya kemampuan aerobik yang tinggi membuat frekuensi jantung semakin lambat menjadikan respon tubuh terhadap hipoksia baik itu hipoksik hipoksia dan terlebih lagi stagnan hipoksia akan semakin kurang efektif.¹⁶⁻¹⁹

Kesimpulan

Hipoksia merupakan hazard di dunia penerbangan yang cukup banyak menjadi faktor penyebab terjadinya kecelakaan. Oleh karena itu diperlukan usaha agar salah satu faktor itu dieliminir. Demonstrasi hipoksia bertujuan untuk mengindoktrinasi penerbang sehingga ketika diperhadapkan dalam situasi nyata maka kesiapan untuk mengantisipasi dapat segera dilaksanakan.

Berbagai parameter fisiologi diteliti hubungannya dengan WSE (Waktu Sadar Efektif) guna memprediksikan WSE. Parameter fisiologi itu yang menjadi variabel independen adalah umur, Hb, persentase FVC terhadap nilai referensi, persentase FEV1/ FVC dan VO₂max uji korelasinya dan hasilnya dari yang terkuat korelasinya adalah Umur ($r = -0,786$), Hb ($r = 0,685$) dan VO₂max ($r = 0,346$). Untuk variabel persentase FVC terhadap nilai referensi dan persentase FEV1/ FVC terhadap nilai WSE hasilnya tidak ada korelasi yang bermakna.

Dari ketiga variabel yang memenuhi syarat kemaknaan (variabel umur, Hb dan VO₂ max), diuji melalui analisis multivariate dan menghasilkan model (formulasi) yang dapat memprediksikan nilai WSE. Formulasi nya adalah sbb:

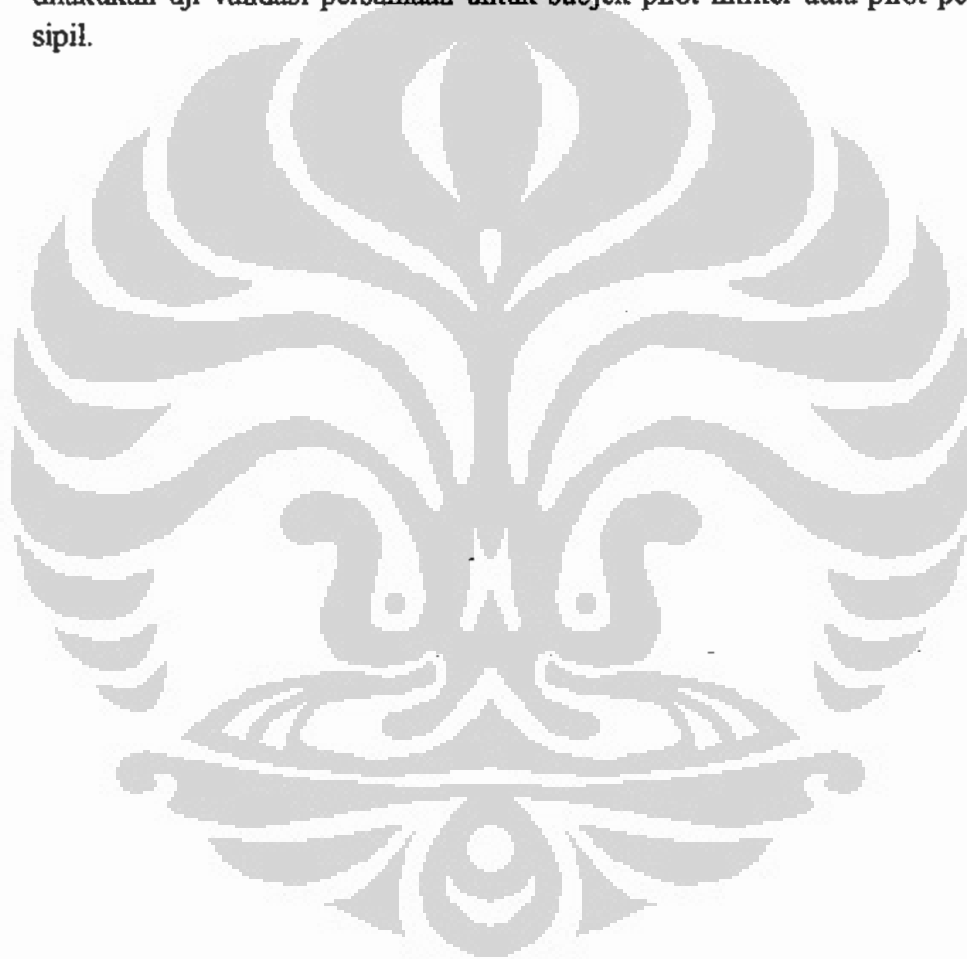
$$\text{WSE (detik)} = 368,429 - 4,563 (\text{Umur}) + 2,339 (\text{Hb}) + 0,109 (\text{VO}_2\text{max})$$

Saran

Bagi penerbang , dianjurkan untuk selalu memperhatikan kemampuan fisiknya sebelum melaksanakan tugas khususnya yang berhubungan dengan bahaya hipoksia.

Bagi Dokter skuadron agar mampu menerapkan formulasi (model predictor WSE) guna skrining personel sesuai dengan tugas dan kondisi lapangan

Bagi Akademisi, dapat mengembangkan penelitian ini untuk dikemudian hari misalnya deskriptif WSE dikalangan penerjun, atau mencari predictor stagnant hipoksia bagi penerbang tempur yang sering terpapar maneuver G Force dan juga dilakukan uji validasi persamaan untuk subjek pilot militer atau pilot penerbangan sipil.



DAFTAR REFERENSI

1. Hackworth Carla A, Peterson Linda M, Jack Dan G, Williams Clara A, Hodges Blake E , Examining Hypoxia: A Survey of Pilots' Experiences and Perspectives on Altitude Training U.S. Department of Transportation 2003 May :p.1
2. Hackworth Carla A, Peterson Linda M, Jack Dan G, Williams Clara A, Hodges Blake E , Examining Hypoxia: A Survey of Pilots' Experiences and Perspectives on Altitude Training U.S. Department of Transportation 2003 May :p.1
3. Harding RM. Hypoxia and hyperventilation. In: Ernsting J, Nicholson AN, Rainford DJ, editors. Aviation medicine. Oxford: Butterworth Heinemann; 1999.p.43-58.
4. Files Douglas S, Webb James T, Pilmanis Andrew A , Depressurization in Military Aircraft: Rates, Rapidity, and Health Effects for 1055 Incidents , Aviation, Space, and Environmental Medicine • 2005 June Vol. 76, No. 6, Section I: p.523-8
5. Reinhart Richard O, The Atmosphere. In : Basic Flight Physiology, New York: Mc Graw Hill ; 2008. P. 32-44
6. Welch B.E. The Biosphere. In: DeHart Roy, editor. Fundamental of Aerospace Medicine. Philadelphia : Lea & Febiger. 1985 p. 63-71
7. Gradwell, David P. The Earth's Atmosphere. In : Rainford, David and Gradwel David P, editors. Ernsting's Aviation medicine. New York : Edward Arnold publisher Ltd . 2006 . p. 3-12
8. Whitton Randall, Effect of Decreased of partial pressure of Oxygen on Respiratory Physiology. USAF School of Aerospace Medicine . Flight Surgeon's Guide . Volume 1. Brooks AFB, Texas. p 8-51
9. Stepanek Jan, Webb James T. Physiology of Decompressive Stress. In : Davis JR, Johnson Robert, Stepanek J, Fogarty JA, editors. Fundamentals of Aerospace Medicine. 4th Edition. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins. 2008. P. 46-8.
10. Kevorkian Rafi. Physiology of Aging. In: Pathy M.S. John, Sinclair. Alan J. Morley John E. Editors. Principles and Practice of Geriatric Medicine Fourth Edition . England : John Wiley & Sons Ltd. 2006.p. 37-46
11. Plowman, Sharon A.; Smith, Denise L . Cardiovascular Responses to Exercise in Sharon A Plowman, editor.Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance 2nd Edition. New York Pearson Education, Inc 2003 . p. 353-80
12. Plowman, Sharon A.; Smith, Denise L . Respiration : in Sharon A Plowman, editor. Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance 2nd Edition. New York Pearson Education, Inc 2003 . p. 257-80

13. J. E. Cotes D. J. Chinn M. R. Miller. The Oxygenation of Blood In : Lung function Physiology, Measurement and Application in Medicine 6th Edition. Massachusetts : Blackwell Publisher. P. 258-73
14. Boitano Scott, Barman Susan M., Barrett Kim E, Brooks Heddwen. Blood as Circulatory The dynamic blood and lymph flow. In : Ganong's Review of Medical Physiology [e-book]. Barrett Kim E. Barman Susan M. editors. 23rd Edition. McGraw-Hill Companies . 2009.
15. Hall John E, Guyton Arthur C. Aviation, Transport of Oxygen and Carbon Dioxide in Blood and Tissue Fluids In: Text Book of Medical Physiology. 11th edition. Philadelphia : Elsevier Saunders. 2006. P. 502-13
16. Plowman, Sharon A.; Smith, Denise L . Cardiorespiratory Training Principles and Adaptations in Sharon A Plowman, editor. Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance 2nd Edition. New York Pearson Education, Inc 2003 . p. 384-413 H.
17. Billeter R, Hoppeler Muscular Basis of Strength, In : Komi Paavo V. editor. Strength and Power in sport. 2nd edition . Oxford UK : Blackwell Publisher ltd. 2003. P. 50-72
18. Hall John E, Guyton Arthur C. Aviation, Sport Physiologi In: Text Book of Medical Physiology. 11th edition. Philadelphia : Elsevier Saunders. 2006. P. 1055-66.
19. Cooper VO₂ max test, VO₂ max , [Diunduh 29 Juni 2009]. Tersedia di <http://www.brianmac.co.uk/vo2max.html>