

Pengaruh Faktor Usia dan Faal Paru Terhadap Penurunan Saturasi Oksigen di Atas Ketinggian 8000 Kaki di dalam Pesawat Udara

Alima Sari Sihotang, Pandiaman Pandia, Amira Permatasari, Putri Eyanor

Departemen Pulmonologi dan Ilmu Kedokteran Respirasi, Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara,
RSUP H. Adam Malik Medan

Abstrak

Latar belakang: Terjadinya perubahan tekanan udara, suhu dan kelembaban atmosfer pada ketinggian akan mengakibatkan penurunan tekanan parsial oksigen, semakin keringnya udara sekitar. Kondisi ini akan memberikan dampak negatif dan gangguan bagi fungsi fisiologis tubuh akibat terjadinya hipoksemia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor usia dan faal paru terhadap penurunan saturasi oksigen pada ketinggian di atas 8000 kaki di dalam pesawat udara.

Metode: Penelitian quasi eksperimental dilakukan pada penumpang pesawat dengan menilai pengaruh faktor usia dan faal paru terhadap penurunan saturasi oksigen pada subjek sebelum dan selama penerbangan periode Agustus-Oktober 2013. Variabel dalam penelitian ini terdiri dari faktor usia, faal paru, riwayat merokok, keluhan respiratorik, foto toraks dan nilai hemoglobin telah diukur sebelum penerbangan. Saat penerbangan di ketinggian 8000 kaki diukur kembali perubahan saturasi oksigen. Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk melihat distribusi frekuensi dari setiap variabel dan chi-square dilakukan untuk melihat hubungan antar variabel.

Hasil: Sebanyak 34 sampel penumpang pesawat udara yang berusia 20-40 tahun, dengan terbanyak adalah laki-laki sebanyak 29 orang (85%). Seluruh sampel mengalami penurunan saturasi oksigen sebesar 3-5% di ketinggian 8000 kaki menjadi berkisar antara 88-93%. Berdasarkan uji chi-square didapat bahwa penurunan saturasi oksigen secara statistik tidak berhubungan dengan faktor usia ($p = 0,441$), riwayat merokok ($p = 0,699$), status faal paru ($p = 0,301$), keluhan respiratorik ($p = 0,775$), foto toraks ($p = 0,094$) dan nilai hemoglobin ($p = 0,473$).

Kesimpulan: Perjalanan dengan pesawat udara menghasilkan penurunan saturasi oksigen sesuai dengan keadaan oksigenasi udara atmosfer di ketinggian. (*J Respir Indo. 2015; 35: 158-66*)

Kata Kunci: saturasi oksigen, pulse oxymetri, tekanan atmosfer.

The Influence Of Age and Pulmonary Function On Oxygen Saturation At Above 8000 Feet In An Aircraft

Abstract

Background: Changes of air pressure, temperature and humidity on an altitude will result in a decrease of oxygen partial pressure and oxygen saturation, as well as drier air, and this condition will eventually lead to a negative impact on body's physiological functions due to hypoxemia. This study aimed to determine the effect of age and pulmonary function on oxygen saturation above 8000 feet in an aircraft.

Methods: A quasi experimental was done to measure oxygen saturation on 34 subjects before and during the flight. Data on age, pulmonary function, smoking history, respiratory complaints, chest X-ray and hemoglobin were gathered before flight. At an altitude of 8000 feet re-measurement of oxygen saturation was performed. Descriptive statistic was done to see the distribution of each variable and Chi-square to examine the association of variables.

Results: Most subjects were men (85%) and out of all subjects 88 - 93% experienced a decrease of oxygen saturation by 3-5% at an altitude of 8000 feet Chi-square test showed that the decrease in oxygen saturation were not statistically associated with age ($p = 0.441$), history of smoking ($p = 0.699$), pulmonary function status ($p = 0.301$), respiratory complaints ($p = 0.775$), chest X-ray ($p = 0.094$) and hemoglobin values ($p = 0.473$).

Conclusions: Travelling with airplane results a decrease in oxygen saturation due to the atmospheric state in different level of altitude. (*J Respir Indo. 2015; 35: 158-66*)

Keywords: oxygen saturation, pulse oxymetri, atmospheric pressure.

Korespondensi: Alima Sari Sihotang

Email: sari_alima@yahoo **Hp:** 061-8363796

PENDAHULUAN

Ketinggian penerbangan pesawat komersial pada umumnya berkisar antara 35.000 hingga 43.000 kaki. Pada setiap perubahan ketinggian ini, maka atmosfer akan mengalami perubahan pada tekanan, suhu dan kelembaban secara teratur, semakin keringnya udara sekitar, diikuti dengan penurunan tekanan parsial oksigen yang memberikan dampak bagi fisiologi tubuh.^{1,2,3}

Perubahan ini akan mengakibatkan penurunan saturasi oksigen berkisar 4% - 6% yang dapat mengganggu fungsi fisiologis tubuh dan membahayakan kesehatan sehingga ditetapkan penggunaan kabin bertekanan (*cabin pressured*) setara 8000 kaki (2348 m) pada pesawat transport. Pada ketinggian ini nilai fraksi inspirasi oksigen (FiO_2) hanya 15% sehingga saturasi oksigen hanya berkisar 93-94%, terjadi ekspansi gas sekitar 38% dalam rongga tubuh sehingga terjadi penurunan faal paru.^{4,6}

Gangguan fungsi paru akibat paparan ketinggian dapat memperberat hipoksemia, cadangan ventilasi untuk aktivitas berkurang dan predisposisi terjadinya kesakitan akibat ketinggian. Perubahan fungsi paru pada ketinggian disebabkan oleh edema paru interstisial, vasokonstriksi arteri pulmonalis, redistribusi volume darah paru, perubahan elastisitas recoil paru, distensi udara pada rongga dada dan perut dan penurunan kekuatan otot pernapasan.⁷

Respons ventilasi merupakan keadaan fisiologis yang terjadi akibat ketinggian. Peningkatan ventilasi ini merupakan akibat perangsangan hipoksia dari badan karotid yang derajatnya berbeda pada tiap individu. Menurunnya tekanan barometer mengakibatkan ventilasi meningkat untuk meminimalkan penurunan PaO_2 . Peningkatan ventilasi terjadi bila tekanan oksigen inspirasi menurun sampai kira-kira 13,3 kPa atau pada ketinggian 3000 meter dan tekanan oksigen alveolar kira-kira 8 kPa.⁸⁻¹⁰

Beberapa penelitian telah dilakukan berkaitan dengan faal paru di dalam penerbangan, seperti Dillard dkk.⁸ yang menyimpulkan, pada ketinggian 8000 kaki pada 42 subjek ditemukan penurunan saturasi oksigen selama terpajan dengan hipoksia

yang tidak berhubungan dengan umur, penurunan *forced vital capacity* (FVC) sekitar 0,123 L, peningkatan *residual volume* (RV) dan peningkatan *peak expiratory flow* (PEF).

Sedangkan Sari dkk.⁹ meneliti terhadap 30 orang anggota Paskhas TNI AU pada ruang *Hypobaric chamber* Lakespra setara 8000 kaki, menemukan penurunan saturasi oksigen sekitar 6,5%. Pada penelitian Akeru dkk.¹⁰, menemukan SaO_2 pada *sea level* sekitar $96\pm 1\%$ dan pada ketinggian 8000 kaki terjadi penurunan SaO_2 sekitar $90\pm 4\%$.

Semua pesawat udara rata-rata mempunyai kabin bertekanan yang aman dan sehat bagi penumpang, serta *crew* pesawat. Ada dua pertimbangan utama mengapa rata-rata pesawat udara diberikan fasilitas *pressurized*, yaitu pengaruh menurunnya tekanan parsial oksigen dan ini sangat berpotensi untuk menimbulkan hipoksia, serta dampak penurunan tekanan pada tubuh dan pengisian udara ke rongga tubuh.¹¹

Sistem kabin bertekanan dalam pesawat telah diatur oleh Federasi Penerbangan Internasional (FAA), berada pada ketinggian kurang dari 8000 kaki (6000-8000 kaki telah direkomendasikan pada semua jenis penerbangan), walaupun pesawat udara terbang pada ketinggian operasional yang maksimal. Ketinggian 6000-8000 kaki ini masih berada dalam zona ketinggian yang aman dan fisiologis, karena masih memiliki kadar oksigen 15,1% pada permukaan laut, sehingga cukup bagi orang sehat untuk bernapas secara fisiologis tanpa bantuan peralatan khusus. Jika kelembaban dalam kabin pesawat rendah berkisar 10-20%, sangat potensial menyebabkan suatu eksaserbasi penyakit saluran napas.^{1,3,5,11,12,13}

Perjalanan udara dengan pesawat udara memungkinkan penumpang akan terpajan dengan kondisi hipoksia hipobarik, akibat turunnya tekanan inspirasi oksigen (PiO_2) dan tekanan barometrik (PB). Pada setiap kenaikan ketinggian 1000 kaki, terjadi penurunan PiO_2 sekitar 5 mmHg.^{3,8,9}

Perjalanan dengan pesawat udara ini mengakibatkan terjadinya suatu sindrom akibat oksigenasi

jaringan yang kurang adekuat. Hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan antara kapiler dan jaringan menurun sehingga pengiriman O_2 ke jaringan dari kapiler kurang efektif. Hipoksia menyebabkan frekuensi napas meningkat (hiperventilasi), CO_2 yang dibuang bertambah sehingga $PaCO_2$ menurun. Tubuh manusia sangat sensitif dan rentan terhadap efek dari kekurangan oksigen dan hipoksia berat, sehingga dapat menyebabkan kerusakan fungsi tubuh dengan cepat, bahkan kematian.^{1,7,14}

Secara umum ada 3 penyebab utama terjadinya hipoksia pada penerbangan, yaitu¹⁴ :

1. Terpajan dengan ketinggian pada penerbangan tanpa kabin (*non-pressurized cabin*) dan tanpa suplemen oksigen.
2. Tidak memadainya peralatan pernapasan pribadi untuk memasok kebutuhan oksigen dengan konsentrasi dan tekanan yang cukup.
3. Dekompresi kabin bertekanan akibat terpajan ketinggian yang ekstrim.

Tujuan umum penelitian untuk mengetahui pengaruh faktor usia dan faal paru terhadap penurunan saturasi oksigen pada ketinggian di atas 8000 kaki di dalam pesawat udara. Tujuan khusus untuk menentukan adanya pengaruh serta faktor usia, riwayat merokok, faal paru, gejala/keluhan respiratorik, foto rongent dada, hemoglobin dengan saturasi oksigen pada penumpang pesawat udara yang terpajan perubahan ketinggian.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian quasi eksperimental dengan menilai pengaruh faktor usia dan faal paru terhadap penurunan saturasi oksigen pada subjek sebelum dan selama penerbangan.

Penelitian dilakukan di Pangkalan Udara TNI-AU Soewondo Medan dan kabin pesawat *Hercules* C-130 TNI-AU. Waktu penelitian akan dilaksanakan selama kurun waktu 3 bulan, Agustus sampai dengan Oktober 2013, atau hingga sampel telah terpenuhi.

Populasi penelitian adalah penumpang pesawat *Hercules* C-130. Sampel penelitian adalah bagian dari populasi yang memenuhi kriteria inklusi dan kriteria eksklusi.

Kriteria Inklusi adalah penumpang pesawat yang berumur 20-40 tahun, tidak melakukan perjalanan udara dalam satu minggu terakhir, mengikuti penerbangan minimal dalam waktu 2 jam, kooperatif melaksanakan pemeriksaan test faal paru, pemeriksaan saturasi oksigen, foto toraks dan hemoglobin (Hb), serta bersedia mengikuti penelitian hingga akhir pemeriksaan dengan menanda tangani *informed consent*. Kriteria eksklusi adalah penyakit yang mempengaruhi saturasi oksigen yaitu penyakit jantung/kardiovaskuler, penyakit obstruksi saluran napas yang mengalami eksaserbasi, yaitu asma dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), serta perempuan hamil.

Pada saat sebelum terbang di *baseline* (ketinggian 1000 kaki dari permukaan laut), subjek penelitian yang memenuhi kriteria inklusi, terlebih dahulu diterangkan mengenai tujuan, dan tata cara percobaan. Subjek diminta mengisi formulir persetujuan untuk mengikuti penelitian dan kuesioner yang dibuat oleh peneliti. Kemudian subjek dilakukan pemeriksaan tanda vital (Tekanan darah, nadi, suhu, respirasi) dan pengukuran tinggi badan, berat badan, pemeriksaan saturasi oksigen pada posisi duduk dengan alat *pulse oxymetry*.

Pemeriksaan faal paru dilakukan pada posisi duduk dimulai dengan pemeriksaan kapasitas vital paksa (KVP) dan volume eskpirasi paksa detik pertama (VEP_1) dengan alat spirometri. Manuver dilakukan masing-masing 3 kali dan diambil nilai yang tertinggi. Pemeriksaan foto toraks dilakukan pada posisi berdiri (*erect*). Pemeriksaan hemoglobin dilakukan dengan mengambil sampel darah masing-masing subjek.

Pada kabin pesawat (ketinggian 8000 kaki dari permukaan laut) dilakukan pemeriksaan saturasi oksigen pada posisi pesawat dalam keadaan level atau sekitar 15 menit setelah *take-off* (lepas landas). Pemeriksaan saturasi oksigen dilakukan pada posisi duduk dengan alat *pulse oxymetry*.

Data dianalisis dengan menggunakan data statistik. Analisis deskriptif akan dilakukan untuk distribusi frekwensi dari setiap variabel serta mendapatkan nilai mean (rerata). Analisis statistik *chi-square*

dilakukan untuk melihat hubungan antar variabel dan *odds ratio* untuk melihat besarnya asosiasi antar variabel. Hasil akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL

Penelitian dilaksanakan di Pangkalan TNI Angkatan Udara Soewondo Medan dan di dalam kabin pesawat udara milik TNI-AU jenis *Hercules C-130*, selama 2 hari dalam 2 kali penerbangan dengan mengikuti jadwal operasional penerbangan pesawat *Hercules C-130* TNI-AU. Didapatkan sampel sebanyak 34 orang dan selama pelaksanaan tidak ditemukan hambatan ataupun efek samping dari penelitian.

Subjek penelitian ini adalah penumpang pesawat *Hercules C-130* TNI AU, yang mana sebagian besar penumpang ini merupakan anggota aktif TNI AU beserta keluarganya. Karakteristik demografi tiap subjek dapat dilihat pada tabel 1.

Sementara distribusi masing-masing variabel tampak pada tabel 2 sampai 7 di bawah ini.

Tabel 1. Karakteristik demografi subjek penelitian (n=34)

| Karakteristik | N | % |
|---------------------------------|----|------|
| Kelompok Usia (tahun) | | |
| 20 – 30 | 6 | 17,6 |
| 30 – 40 | 28 | 82,4 |
| Jenis kelamin | | |
| Laki-laki | 29 | 85,3 |
| Perempuan | 5 | 14,7 |
| Tinggi Badan (cm) | | |
| < 167 | 17 | 50 |
| > 167 | 17 | 50 |
| Berat Badan (kg) | | |
| < 70 | 19 | 55,9 |
| > 70 | 15 | 44,1 |
| Status merokok | | |
| Perokok | 17 | 50 |
| Bukan perokok | 17 | 50 |
| Faal Paru | | |
| Normal | 17 | 50 |
| Abnormal | 17 | 50 |
| Keluhan Respiratorik | | |
| Ada keluhan | 32 | 94,1 |
| Tidak ada keluhan | 2 | 5,9 |
| Foto Toraks | | |
| Normal | 29 | 85,3 |
| Abnormal | 5 | 14,7 |
| Hemoglobin | | |
| Normal (laki-laki) 14 – 18 g/dl | 15 | 44,1 |
| Abnormal (laki-laki) < 14 g/dl | 14 | 41,2 |
| Normal (perempuan) 12 – 16 g/dl | 5 | 14,7 |

Tabel 2. Frekuensi distribusi dan pengaruh saturasi oksigen sebelum dan saat terbang berdasarkan faktor usia

| Kelompok Usia (tahun) | Saturasi O ₂ (Pre) | | | | | | Saturasi O ₂ (Post) | | | | | | p |
|-----------------------|-------------------------------|---|---------|---|------|------|--------------------------------|-----|---------|-----|------|---|-------|
| | < 90 | | 90 - 95 | | > 95 | | < 90 | | 90 - 95 | | > 95 | | |
| | N | % | N | % | N | % | N | % | N | % | N | % | |
| 20 - 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 17,6 | 0 | 0 | 6 | 20 | 0 | 0 | |
| 30 - 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 82,4 | 4 | 100 | 24 | 80 | 0 | 0 | 0,441 |
| Total | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 100 | 4 | 100 | 30 | 100 | 0 | 0 | |

Tabel 3. Frekuensi distribusi dan pengaruh saturasi oksigen sebelum dan saat terbang berdasarkan faal paru

| Faal Paru | Saturasi O ₂ (Pre) | | | | | | Saturasi O ₂ (Post) | | | | | | p |
|--------------|-------------------------------|---|---------|---|------|-----|--------------------------------|-----|---------|------|------|---|-------|
| | < 90 | | 90 - 95 | | > 95 | | < 90 | | 90 - 95 | | > 95 | | |
| | N | % | N | % | N | % | N | % | N | % | N | % | |
| Normal | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 50 | 1 | 25 | 16 | 53,3 | 0 | 0 | |
| Tidak Normal | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 50 | 3 | 75 | 14 | 46,7 | 0 | 0 | 0,301 |
| Total | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 100 | 4 | 100 | 30 | 100 | 0 | 0 | |

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa pada ketinggian di atas 8000 kaki terjadi penurunan konsentrasi oksigen di perifer sehingga mengakibatkan nilai saturasi oksigen menurun hingga di bawah 90% pada kelompok usia 30-40 tahun sebanyak 4 orang (100%), sedangkan sisanya 24 orang (80%) juga mengalami penurunan tetapi masih di atas 90%. Pada kelompok usia 20-30 tahun juga menurun tetapi masih di atas 90% sebanyak 6 orang (20%). Dari tabel ini dapat dilihat bahwa nilai saturasi oksigen secara statistik tidak ada hubungannya dengan faktor usia ($p = 0,441$).

Dari 34 sampel penelitian ini, terdapat kelompok bukan perokok sebanyak 17 orang yaitu 15 orang (50%) mengalami penurunan saturasi oksigen masih di atas 90%, 2 orang (50%) di bawah 90%. Pada kelompok perokok juga sebanyak 17 orang yaitu masing-masing 2 orang (50%) yang mengalami penurunan saturasi oksigen di bawah 90%, sedangkan penurunan saturasi oksigen yang masih berada di atas 90% berjumlah 15 orang (50%). Untuk itu dapat disimpulkan bahwa jumlah perokok dengan yang bukan perokok sama besar demikian juga jumlah yang mengalami nilai penurunan saturasi oksigen di atas 90%. Hasil uji *chi-square* menunjukkan bahwa saturasi oksigen secara statistik tidak berhubungan dengan status merokok ($p=0,699$).

Jumlah faal paru normal dengan yang tidak normal sama besar, dan terbanyak nilai penurunan saturasi oksigennya adalah masih di atas 90% terutama pada kelompok faal paru yang normal. Hasil uji kai-

kwadrat menunjukkan bahwa saturasi oksigen secara statistik tidak berhubungan dengan status faal paru ($p=0,301$).

Penumpang pesawat yang menjadi sampel mayoritas mempunyai keluhan respiratorik dari pada yang tidak (94,1%). Seluruh sampel mengalami penurunan konsentrasi oksigen perifer saat di ketinggian 8000 kaki sehingga mengakibatkan penurunan saturasi oksigen, terbanyak adalah dengan nilai SaO_2 di atas 90% berjumlah 28 orang (93,3%). Sebanyak 4 orang (100%) mengalami penurunan saturasi oksigen di bawah 90%. Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa saturasi oksigen secara statistik tidak berhubungan dengan adanya keluhan respiratorik ($p = 0,775$).

Sampel dengan foto toraks normal dan abnormal tetap mengalami penurunan saturasi oksigen dengan nilai paling banyak di atas 90%. Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa saturasi oksigen secara statistik tidak berhubungan dengan foto toraks ($p = 0,094$).

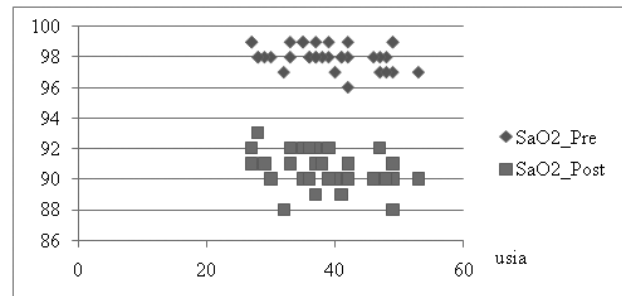
Dari tabel terlihat bahwa penurunan saturasi oksigen terbanyak di atas 90% baik nilai hemoglobin yang normal maupun yang abnormal. Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa saturasi oksigen tidak berhubungan dengan nilai hemoglobin secara statistik ($p = 0,473$).

PEMBAHASAN

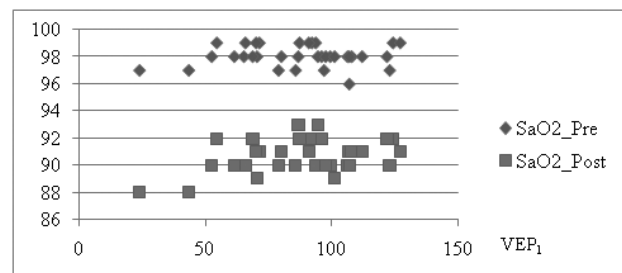
Sampel penelitian ini berjumlah 34 orang yang berasal dari penumpang pesawat udara jenis *Hercules C-130* milik TNI Angkatan Udara yang rutin melakukan penerbangan operasionalnya sesuai jadwal. Sampel diambil saat melakukan penerbangan dengan rute Medan-Tanjung Pinang-Pontianak-Medan selama 2 hari pada tanggal 26-27 September 2013, bertempat di ruang *VIP-Room* DAAU Pangkalan TNI AU Lanud Soewondo Medan dan di dalam kabin pesawat *Hercules C-130*.

Berdasarkan faktor usia didapatkan bahwa pada kelompok usia 20-30 tahun dan 30-40 tahun terjadi penurunan saturasi oksigen. Dimana nilai penurunannya

terbanyak di atas 90% terutama pada kelompok usia 30-40 tahun (80%) dan usia 20-30 tahun (20%). Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa penurunan saturasi oksigen tidak berhubungan dengan faktor usia, seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2 di bawah ini.



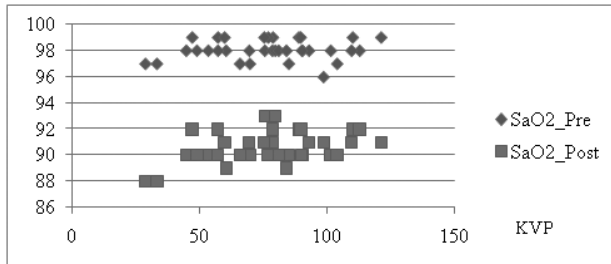
Gambar 1. Hubungan antara saturasi oksigen dan kelompok usia yang diukur sebelum terbang dan saat terbang di ketinggian 8000 kaki.



Gambar 2. Hubungan antara saturasi oksigen (sebelum terbang dan saat terbang di ketinggian 8000 kaki) dengan nilai faal paru volume ekspirasi paksa detik pertama (VEP_1) yang diukur sebelum terbang.

Tabel 2 memperlihatkan masing-masing usia saat di ketinggian 8000 kaki mengalami penurunan saturasi oksigen. Tampak adanya variasi nilai perubahan saturasi oksigennya yaitu berkisar antara 88% sampai dengan 93%.

Hasil penelitian ini sama halnya dengan penelitian Dillard dkk.⁸ tahun 1995 yang menyimpulkan bahwa pada ketinggian 8000 kaki ditemukan penurunan saturasi oksigen selama terpajan dengan hipoksia yang tidak berhubungan dengan umur. Bendrick dkk.¹³ menemukan penurunan saturasi oksigen dari oksimetri yang tidak berhubungan dengan usia. Humpreys dkk.¹¹ yang menyatakan bahwa pada penerbangan jarak dekat dan jauh terjadi penurunan saturasi oksigen sebesar 4% saat di ketinggian 5000-9000 kaki yang tidak berhubungan dengan usia. Sari



Gambar 3. Hubungan antara saturasi oksigen (sebelum terbang dan saat terbang di ketinggian 8000 kaki) dengan nilai faal paru kapasitas vital paksa (KVP) yang diukur sebelum terbang.

dkk.⁹ menemukan penurunan saturasi oksigen sebesar 6,5% terhadap 30 orang anggota Paskhas TNI AU di ruang *Hypobaric Chamber* di ketinggian 8000 kaki. Penelitian Zainuddin R tahun 2005 pada anggota TNI AU Skadron Udara 32 di Malang juga terjadi penurunan saturasi oksigen sebesar 6% pada semua penumpang yang menjadi sampel usia 20-50 tahun. Hal ini disebabkan pada ketinggian 8000 kaki (2348 m) terjadi penurunan tekanan atmosfer dari 1 atm menjadi 0,74 atm, tekanan udara dari 760 mmHg turun menjadi 575 mmHg. Nilai konsentrasi oksigen (FiO_2) hanya 15% disertai penurunan tekanan inspirasi oksigen (PiO_2) menjadi 110 mmHg, sehingga akan mempengaruhi oksigenasi jaringan. Dan di ketinggian ini juga terjadi penurunan tekanan parsial oksigen arteri (PaO_2) menjadi 65-68 mmHg. Akibatnya pada orang sehat akan terjadi penurunan saturasi oksigen (SaO_2) menjadi 93% - 94% sesuai dengan kurva disosiasi oksigen.^{1,5,7,15}

Pada penelitian ini yang dilakukan di dalam kabin pesawat *Hercules*, tekanan dalam kabin sudah sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh Federasi Penerbangan Internasional yaitu 8000 kaki. Karena di dalam pesawat *Hercules* sendiri mempunyai pengaturan tekanan kabin agar dapat menanggulangi besarnya tekanan atmosfer di udara luar, dan besarnya tekanan itu dapat diatur mulai dari 1000 kaki sampai 10.000 kaki. Sistem bertekanan ini akan mengontrol aliran udara di pesawat dalam mempertahankan ketinggian kabin yang dipilih. Saat penelitian ini dilakukan, tekanan dalam kabin *Hercules* berada pada kisaran 6000-8000 kaki. Sehingga sesuai dengan pembahasan terjadinya penurunan saturasi oksigen.⁷

Dari riwayat merokok, terdapat persentase penurunan saturasi oksigen yang sama besar antara perokok (50%) dengan tidak perokok (50%). Disimpulkan riwayat merokok tidak ada hubungannya dengan penurunan saturasi oksigen ($p=0,699$). Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa saturasi oksigen di ketinggian 8000 kaki pada perokok dan bukan perokok menunjukkan penurunan yang secara statistik tidak bermakna ($p > 0,05$). Hasil ini sesuai dengan penelitian Bendrick dkk.¹³ tahun 1995 pada pasien PPOK ditemukan penurunan saturasi oksigen yang tidak berhubungan dengan riwayat merokok. Dan penelitian Zainuddin R⁷ yang menemukan bahwa perubahan saturasi oksigen tidak berhubungan dengan riwayat merokok.

Hal ini disebabkan karena pada keadaan ketinggian di dalam penerbangan, perubahan saturasi oksigen sangat bergantung dan menyesuaikan dengan tingkat ketinggian yang ada. Pada ketinggian terjadi penurunan tekanan udara atmosfer yang mengakibatkan juga penurunan konsentrasi oksigen pada udara atmosfer. Akibatnya saturasi oksigen akan mengalami perubahan pada saat konsentrasi oksigen di jaringan juga menurun.¹⁶

Gambar memperlihatkan bahwa nilai faal paru VEP_1 dari yang paling rendah (tidak normal) sampai normal yang diukur sebelum terbang mengalami penurunan saturasi oksigen. Disini tampak bahwa nilai VEP_1 yang semakin rendah maka perubahan saturasi oksigennya menjadi lebih rendah pula.

Nilai faal paru kapasitas vital paksa yang diukur saat sebelum terbang tidak mempengaruhi nilai perubahan saturasi oksigen saat diukur di ketinggian 8000 kaki. Karena pada setiap nilai kapasitas vital paksa ini tetap mengalami penurunan saturasi oksigen saat diukur di ketinggian 8000 kaki.

Nilai VEP_1/KVP tetap mengalami penurunan saturasi oksigen yang diukur pada ketinggian 8000 kaki. Karena nilai VEP_1/KVP yang diukur saat sebelum terbang tidak mempengaruhi perubahan saturasi oksigen.

Dari hasil penelitian ini pada sampel faal paru ditemukan jumlah faal yang normal dengan tidak normal

sama besar. Pada keduanya tetap terjadi penurunan saturasi oksigen, walaupun kelompok faal paru tidak normal yang terbanyak penurunannya mencapai di bawah 90% yaitu 3 orang (75%), sedangkan faal paru normal hanya 1 orang (25%). Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa faal paru secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna dengan saturasi oksigen ($p = 0,301$), ($p > 0,05$). Hasil ini sama dengan yang didapat pada penelitian sebelumnya oleh Bendrick dkk.¹³ tahun 1995 dimana penurunan saturasi oksigen tidak berhubungan dengan rasio VEP_1/KVP .¹⁷

Hal ini disebabkan karena perubahan saturasi oksigen di daerah ketinggian dipengaruhi oleh keadaan tekanan udara dan konsentrasi oksigen pada udara atmosfer, sehingga kondisi faal paru seseorang tidak mempengaruhi saturasi oksigen. Pada penelitian ini didapatkan faal paru yang abnormal, sehingga penurunan saturasi oksigen di ketinggian 8000 kaki lebih besar mencapai 87-89% dibandingkan dengan faal paru yang normal. Hal ini terjadi karena perubahan tingkat hipoksemia di ketinggian dipengaruhi oleh nilai faal paru dan konsentrasi oksigen di dalam darah sebelum penerbangan. Bahkan beberapa kepustakaan mengatakan bahwa pada penumpang yang sehat saturasi oksigen akan jatuh mencapai 90-95% di dalam penerbangan, bahkan hipoksemia yang lebih berat dapat terjadi pada individu normal dan banyak pasien dengan penyakit respiratorik.^{15,16}

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa hampir semua sampel mempunyai keluhan respiratorik. Subjek yang mempunyai keluhan maupun tidak mempunyai keluhan tetap mengalami penurunan saturasi oksigen. Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa penurunan saturasi oksigen tidak berhubungan dengan keluhan respiratorik ($p = 0,775$), dan tidak terdapat perbedaan yang bermakna secara statistik antara penurunan saturasi oksigen dengan keluhan respiratorik ($p > 0,05$).

Keluhan respiratorik yang dialami sampel penumpang disini terutama batuk, diikuti dengan sesak napas dan nyeri dada bukan merupakan keluhan yang berat, yang menandakan suatu serangan penyakit saluran pemapasan ataupun eksaserbasi. Pada beberapa orang

sampel diketahui bahwa keluhan ini bukan sedang dialami sekarang saat penelitian ini, tapi sebelum ikut dalam penelitian. Hal ini dibuktikan dari pemeriksaan foto rongent toraks yang sebagian besar adalah normal, dan juga dari kepustakaan dikatakan bahwa mayoritas keluhan batuk akut disebabkan oleh infeksi virus (*viral respiratory tract infections*). Sehingga keluhan ini tidak mempengaruhi perubahan saturasi oksigen. Perubahan saturasi oksigen terjadi menyesuaikan dengan ketinggian yang ada. Semakin berada pada ketinggian dengan tekanan udara atmosfer yang juga menurun maka akan menurunkan juga konsentrasi oksigen di udara, sehingga saturasi oksigen juga akan menurun.¹⁶

Pada pemeriksaan foto toraks lebih dari separuhnya terdapat hasil foto yang normal berjumlah 29 orang (85,3%), dan tidak normal hanya 5 orang (14,7%). Sementara penurunan saturasi oksigen terjadi pada kedua kelompok foto toraks ini walaupun terbanyak penurunannya pada nilai di atas 90% sejumlah 27 orang (90%). Hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa keadaan foto toraks tidak berhubungan dengan penurunan saturasi oksigen, dimana nilai $p = 0,094$. Artinya penurunan saturasi oksigen tidak bermakna secara statistik dengan foto toraks ($p > 0,05$). Hal ini diakibatkan karena foto toraks digunakan untuk menilai pasien yang diketahui ataupun dicurigai mempunyai penyakit paru. Foto toraks dapat menggambarkan klinis penyakit paru secara signifikan, serta memberikan manifestasi penyakit yang mempunyai kelainan dalam distribusi aliran darah paru, jalan napas, dan parenkim paru. Sehingga tidak dapat menggambarkan keadaan oksigenasi jaringan serta di dalam darah arteri.¹⁸

Pada penelitian ini didapatkan sampel laki-laki lebih banyak dari pada perempuan. Kelompok laki-laki ini lebih banyak yang mendapat nilai hemoglobin normal dari pada yang tidak normal. Dan pada kedua kelompok ini sama-sama ditemukan penurunan saturasi oksigen walaupun terbanyak penurunannya pada nilai di atas 90%. Dari hasil uji kai-kwadrat menunjukkan bahwa penurunan saturasi oksigen tidak berhubungan secara statistik dengan nilai hemoglobin ($p > 0,05$).

Hal ini disebabkan karena perubahan saturasi oksigen ini diambil pada ketinggian 8000 kaki, dimana pada ketinggian ini terjadi penurunan yang

progresif dari tekanan barometrik dan tekanan parsial oksigen arteri sehingga pengiriman oksigen ke jaringan juga berkurang. Sementara itu nilai hemoglobin diambil saat di daratan dengan hasil rata-rata normal, sehingga tidak mempengaruhi nilai penurunan saturasi oksigen. Hemoglobin merupakan senyawa pembawa oksigen pada sel darah merah yang akan dihantarkan ke seluruh jaringan tubuh. Bila konsentrasi oksigen berkurang, maka aliran ke jaringan akan berkurang akibatnya saturasi juga akan menurun, dan kadar hemoglobin dapat menurun.^{16,18} Jumlah sampel nilai hemoglobin tidak mencukupi untuk kelompok perempuan sehingga tidak dapat dinilai secara statistik.

KESIMPULAN

Perjalanan dengan pesawat udara mengakibatkan terjadinya penurunan saturasi oksigen sesuai dengan ketinggian dalam penerbangan. Penurunan saturasi oksigen ini tidak dipengaruhi oleh faktor usia dan fungsi paru. Tetapi penurunan ini berdasarkan pada keadaan oksigenasi udara atmosfer sesuai dengan tingkat ketinggian dalam penerbangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rose JW, Oswald RE. Physiology of Flight. In US NAVAL Flight Surgeon's Manual. Naval Aerospace Medical Institute. 3rd ed. Washington DC; The Boureau of medicine and surgery; 1991.p.1-8.
2. Darwish AA. Aerospace Medicine part 4. The Internet Journal Of Pulmonary Medicine. 2003;3:2-11.
3. Lumb AB. High Altitude And Flying. Nunn's Applied Respiratory Physiology. 5th ed. Oxford. Butterwoth-Heinemann. 2000.p.357-74.
4. Stoller JK. Patient Information; Supplemental Oxygen on Commercial Air Carriers, Up To Date Patient Information. [Online]. 2004. [Cited 2013 February 9]. Available from: <http://www.uptodate.com/contents/supplementals-oxygen-on-commercial-airlines-bey>.
5. Hidayat Achmad. Current Issue Dalam Kedokteran Penerbangan. Disampaikan pada Jakarta Internasional Aerospace Medicine Symposium (JIAMS) Combined with Continuing Aerospace Medicine Education (CAME), Jakarta 1-2 Juni, 2009.
6. Aviation Health Unit. Assessing Fitness to Fly. UK Civil Aviation Authority. May 2012.
7. Zainuddin R. Pengaruh Penerbangan Udara Terhadap Penurunan Faal Paru dan Saturasi Oksigen. Tesis. Bagian Pulmonologi dan Ilmu Kedokteran Respirasi, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga. Surabaya. 2005.
8. Dillard TA, Moores LK, Bilello KL, Phillips YY. The Preflight Evaluation: A Comparison of The Hypoxia Inhalation Test With Hypobaric Exposure. Chest. 1995;107:352-7.
9. Sari FE. Pengaruh Faktor Transport Oksigen Terhadap Kecepatan Kejadian Hypoxia dan Pencapaian Waktu Sadar Efektif Pada Ketinggian 8000 Dan 25.000 Kaki Dengan Simulasi Ruang Udara Bertekanan Rendah. Tesis. Departemen Pulmonologi & Ilmu Kedokteran Respirasi, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. 2004.
10. Akerø A, Christensen CC, Edvardsen A, Skojnesberg OH. Hypoxaemia in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients During A Commercial Flight. Eur Respir J. 2005;725-30.
11. Humpreys S, Determond R, Bali I. The Effect Of High Altitude Commercial Air Travel On Oxygen Saturation. Anaesthesia. 2005;60:458-60.
12. Muhn JM. Predicted Arterial Oxygenation At Commercial Aircraft Cabin Altitudes. Aviation Space And Environmental Medicine. 2004;75:905-12.
13. Bendrick GA, Nicolas DK, Krause BA. Inflight Oxygen Saturation Decrements In Aeromedical Evacuation Patients. Aviat Space Environ Med. 1995;66:40-4.
14. Gandreau MA, De John C. Responding To Medical Events During Commercial Airline. N Engl J Med. 2002;346:1067-73.
15. Scoene RB, Hackett PH, Hombein TF. High Altitude. In: Murray JF, Nadel JA, Mason RJ, Boushey HA, editors. Textbook Of Respiratory

- Medicine. Philadelphia. WB Saunders Company; 2005.p.1915-50.
16. Cottrel JJ. Altitude Exposure During Aircraft Flight Flying Higher. Chest. 1998;92:81-4.
17. Seccombe LM, Kelly PT, Wong CK, Rogers PG, Lim S, Peters MJ. Respiratory Physiology. Effect Of Simulated Commercial Flight On Oxygenation In Patients With Interstitial Lung Disease and Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Thorax. 2004;59:966-70.
18. Dinas Aeronautika TNI-AU. Cabin Pressurization Hercules C-130. Jakarta; Disaeronautika TNI-AU; 2014.