

---

## **EFEK TEKANAN UDARA TERHADAP FISIOLOGI TUBUH ATLET**

Oleh: Ali Satya Graha

Dosen Jurusan Pendidikan Kesehatan dan Rekreasi FIK UNY

---

### **Abstrak**

Moderenisasi semakin menjanjikan untuk perkembangan para atlet yang mencapai kesuksesan dan prestasi tanpa memperdulikan kondisi fisik dan efek dari aktivitas olahraga tersebut, sehingga mereka harus siap bertanding dalam kondisi dan situasi bagaimanapun baik dalam cuaca maupun kondisi alam yang berubah-ubah. Atlet terkadang harus bertanding di tempat yang lebih tinggi ataupun di tempat yang rendah dibanding daratan. Oleh karena itu penting bagi atlet, pelatih, dan penyelenggara pertandingan untuk mengetahui efek fisiologi dari berbagai macam stres lingkungan pada atlet yang akan bertanding. Terutama di sini pada daerah ketinggian yang berbeda, misalkan pada sekelompok atlet tidak mudah dengan gerak cepat bertanding di kota yang lebih tinggi tempatnya dari tempat di mana atlet-atlet biasa berlatih.

Jadi diperlukan penyesuaian atau adaptasi tubuh terlebih dahulu sebelum bertanding. Ini disebabkan adanya perbedaan tekanan udara atau tekanan O<sub>2</sub> di tempat dengan ketinggian yang berbeda. Sehingga kemampuan kerja otot juga menjadi berubah dan tidak menimbulkan persoalan hipoksia pada fisiologi tubuh atlet saat bertanding di tempat tinggi.

**Kata kunci: tekanan udara**

Moderenisasi semakin menjanjikan untuk perkembangan para atlet yang mencapai kesuksesan dan prestasi tanpa memperdulikan

kondisi fisik dan efek dari aktivitas olahraga tersebut, sehingga mereka harus siap bertanding dalam kondisi dan situasi bagaimanapun baik dalam cuaca maupun kondisi alam yang berubah-ubah. Atlet terkadang harus bertanding di tempat yang lebih tinggi ataupun di tempat yang rendah dibanding daratan. Oleh karena itu penting bagi atlet, pelatih dan penyelenggara pertandingan untuk mengetahui efek fisiologi dari berbagai macam stres lingkungan pada atlet yang akan bertanding. Terutama disini pada daerah ketinggian yang berbeda, misalkan pada sekelompok atlet adalah tidak mudah dengan gerak cepat bertanding di tempat yang lebih tinggi tempatnya dari tempat dimana atlet-atlet biasa berlatih (Foss, 1998). Jadi diperlukan penyesuaian atau adaptasi tubuh terlebih dahulu sebelum bertanding. Ini disebabkan adanya perbedaan tekanan udara atau tekanan O<sub>2</sub> di tempat dengan ketinggian yang berbeda. Penurunan tekanan barometer ini merupakan dasar penyebab dari semua persoalan hipoksia pada fisiologi manusia di tempat tinggi. Sehingga kemampuan kerja otot juga menjadi berubah.

### **Tekanan Barometer di Berbagai Ketinggian Tempat**

Pada ketinggian permukaan laut tekanan barometer adalah 760 mm Hg, sedangkan pada ketinggian 10.000 kaki hanya 523 mm Hg, dan pada 50.000 kaki adalah 87 mm Hg. Penurunan tekanan barometer ini merupakan dasar penyebab dari semua persoalan hipoksia pada fisiologi manusia di tempat tinggi, karena

seiring dengan penurunan tekanan barometer akan terjadi juga penurunan tekanan oksigen parsial yang sebanding, sehingga tekanan oksigen selalu tepat yaitu sedikit lebih rendah dari 21 persen dibanding tekanan barometer total pada ketinggian permukaan laut sekitar 159 mm Hg, tetapi pada ketinggian 50.000 kaki hanya 18 mm Hg. (Guyton and Hall, 1996)

#### **PO<sub>2</sub> Alveolus pada berbagai Ketinggian**

Kolom kelima pada tabel 1 memperlihatkan PO<sub>2</sub> di alveoli pada berbagai ketinggian bila seseorang menghirup udara dalam keadaan teraklimatisasi dan tidak teraklimatisasi. Pada ketinggian permukaan laut, PO<sub>2</sub> Alveolus adalah 104 mm Hg; pada ketinggian 20.000 kaki, tekanan ini menurun sampai sekitar 40 mm Hg pada orang yang tidak teraklimatisasi, tetapi hanya 53 mm Hg pada orang beraklimatisasi. Perbedaan dari kedua hal ini adalah bahwa ventilasi alveolus meningkat sekitar lima kali lipat pada orang yang beraklimatisasi.

**Tabel 1. Pengaruh Paparan Akut Tekanan Atmosfer yang Rendah terhadap Kadar Gas Alveolus dan Kejenuhan Oksigen Arteri.**

				Menghirup udara			Menghirup O <sub>2</sub> murni	
Ketinggian (Kaki)	Tekanan Barometer (mm Hg)	PO <sub>2</sub> dlm udara (mm Hg)	Pco <sub>2</sub> dlm alveoli (mm Hg)	Po <sub>2</sub> dlm alveoli (mm Hg)	Kejenuhan O <sub>2</sub> Arteri (%)	Pco <sub>2</sub> dlm Alveoli (mm Hg)	Po <sub>2</sub> dlm Alveoli (mm Hg)	Kejenuhan O <sub>2</sub> Arteri (mm Hg)
0	760	159	40(40)	104(104)	97(97)	40	673	100
10.000	523	110	36(23)	67(77)	90(92)	40	436	100
20.000	349	73	24(5)	40(53)	73(85)	40	262	100
30.000	226	47	24(7)	18(30)	24(38)	40	139	99
40.000	141	29				36	58	84
50.000	87	18				24	18	15

#### **CO<sub>2</sub> dan Uap Air Menurunkan Oksigen Alveolus**

Di tempat yang tinggi pun karbondioksida tetap diekskresi dari darah paru ke Alveoli. Demikian pula, air menguap kedalam udara inspirasi dari permukaan alat pernapasan. Oleh sebab itu, kedua gas ini akan mengencerkan oksigen dalam alveoli, sehingga menurunkan kadar oksigen.

Tekanan uap air dalam alveoli tetap 47 mm Hg selama suhu tubuh normal, tidak bergantung pada ketinggian. Lain halnya dengan karbondioksida, selama berada ditempat yang sangat tinggi,

PCO<sub>2</sub> alveolus turun dari 40 mm Hg (nilai dipermukaan laut) kenilai yang lebih rendah. Pada seseorang yang teraklimatisasi, yang ventilasinya meningkat sampai lima kali lipat, terjadi penurunan sekitar 7 mm Hg akibat peningkatan pernapasan.

Sekarang mari kita lihat bagaimana tekanan kedua gas tersebut mempengaruhi oksigen alveolus. Sebagai contoh, katakanlah bahwa tekanan barometer turun, menjadi 253 mm Hg, yang nilainya diukur dari puncak gunung Everest pada ketinggian 29.028 kaki. Empat puluh tujuh milimeter air raksa dari ini tentunya uap air, dan sisanya hanya 206 mm Hg untuk seluruh gas-gas lain. Pada seseorang yang teraklimatisasi, 7 mm dari 206 mm Hg tentunya merupakan karbon dioksida, dan sisanya hanya 109 mm Hg. Jika tidak ada oksigen yang digunakan oleh tubuh, seperlima dari 199 mm Hg ini akan berupa oksigen dan empatperlimanya merupakan nitrogen; atau PO<sub>2</sub> dalam alveoli akan menjadi 40 mm Hg. Sebagian dari oksigen alveoli yang tersisa ini akan di absorsi kedalam darah, menghasilkan tekanan oksigen sekitar 35 mm Hg di dalam alveoli. Karena itu, pada puncak Gunung Everest, hanya orang-orang yang memiliki aklimatisasi terbaik yang dapat bertahan hidup saat menghirup udara. Tetapi pengaruh ini sangat berbeda bila seseorang menghirup oksigen murni.

### **Efek Menghirup Oksigen Murni terhadap PO<sub>2</sub> Alveolus pada Berbagai Ketinggian**

Bila seseorang menghirup oksigen murni sebagai pengganti udara, maka sebagian besar ruangan dalam alveoli yang sebelumnya terisi oleh nitrogen sekarang menjadi terisi oleh oksigen. Karena itu, pada ketinggian 30.000 kaki penerbang dapat mempunyai PO<sub>2</sub> sebesar 139 mm Hg, bukan 18 mm Hg seperti ketika menghirup udara biasa.

Kejenuhan arteri pada ketinggian 47.000 kaki bila seseorang menghirup oksigen kira-kira 50 persen, dan ini sama dengan kejenuhan oksigen arteri pada ketinggian 23.000 kaki bila seseorang menghirup udara. Selain itu, karena seseorang yang tidak teraklimatisasi dapat tetap sadar sampai kejenuhan oksigen arteri turun hingga 50 persen, dalam waktu yang singkat, plafon bagi penerbang yang mengemudikan pesawat tanpa alat pengukur tekanan bila menghirup udara kira-kira adalah 23.000 kaki, sedangkan bila menghirup oksigen murni kira-kira 47.000 kaki, asalkan alat pensuplai oksigen berjalan dengan baik

### **Efek Tekanan O<sub>2</sub> yang Rendah Terhadap Tubuh Atlet**

Penurunan tekanan O<sub>2</sub> parsial yang sebanding dengan penurunan tekanan barometer ini merupakan dasar dari penyebab semua persoalan hipoksia pada fisiologi atlet saat akan melakukan pertandingan di tempat yang tinggi. Pada hipoksia jaringan tubuh mengalami kekurangan O<sub>2</sub> dalam jumlah dan konsentrasi molekulnya (Dirkes AU, 1995).

Beberapa efek akut penting dari hipoksia yang harus diketahui oleh atlet dan pelatih, seperti pada tempat yang memiliki ketinggian mulai dari 12.000 kaki ialah mengantuk, malas, kelelahan mental dan otot-otot, kadang-kadang sakit kepala, mual, dan euforia. Semua gejala-gejala ini berkembang progresif menjadi tahap kedutan (twitching) atau kejang diatas ketinggian 18.000 kaki dan akhirnya, di atas ketinggian di atas 23.000 kaki berakhir dengan koma pada atlet yang belum mengalami aklimatisasi (Foss dan Ketenyan, 1998).

Salah satu efek utama dari hipoksia ialah menurunnya kecakapan mental, yang akan menurunkan kemampuan dalam pengambilan keputusan, mengingat, dan dalam melakukan gerakan motorik yang berlainan. Sebagai contoh, jika seorang penerbang yang belum mengalami aklimatisasi berada pada ketinggian 15.000 kaki selama satu jam, kemampuan mental biasanya turun menjadi 50 persen normal, dan setelah 18 jam turun menjadi 20 persen.

#### **Aklimatisasi Terhadap PO<sub>2</sub> yang Rendah pada Atlet**

Atlet yang tinggal ditempat tinggi selama beberapa hari, minggu, tahun, menjadi semakin teraklimatisasi terhadap PO<sub>2</sub> yang rendah, sehingga efek buruknya terhadap tubuh makin lama makin berkurang, dan memungkinkan atlet tersebut untuk bekerja lebih berat tanpa mengalami efek hipoksia atau untuk naik ketempat yang lebih tinggi (Guyton and Hall, 1996, Ganong F.W., 1999)

Prinsip-prinsip utama yang terjadi pada aklimatisasi ialah:

1. Peningkatan ventilasi paru yang cukup besar.
2. Sel darah merah bertambah banyak.
3. Kapasitas difusi paru meningkat.
4. Vaskularisasi jaringan meningkat.
5. Kemampuan sel dalam menggunakan oksigen meningkat sekalipun PO<sub>2</sub> rendah. (Ganong F.W., 1999)

#### **Aklimatisasi Alami Pada Atlet yang Tinggal di Tempat Tinggi.**

Banyak atlet pendaki gunung yang tinggal di pergunungan Andes dan Himalaya yang berada pada ketinggian 13.000 kaki karena mereka bangga akan prestasi dan kebanggaan menaklukkan gunung tersebut. Sehingga ada beberapa atlet tersebut menjadi penduduk dan bermukim di ketinggian itu dan tinggal di sana sepanjang hidupnya. Dalam semua aspek aklimatisasi, atlet ini lebih superior dibandingkan dengan penduduk dengan tempat rendah dengan aklimatisasi terbaik. Atlet yang terlahir disana akan menjadi superior dengan aklimatisasi penyesuaian dalam berbagai hal. Beberapa ciri-ciri atlet yang terlahir di tempat ketinggian antara lain: ukuran dadanya sangat besar, sedangkan ukuran tubuhnya sedikit lebih kecil, sehingga rasio kapasitas ventilasi terhadap masa tubuh menjadi besar. Selain itu, jantungnya, terutama jantung kanan jauh lebih besar dari pada orang yang tinggal ditempat rendah, jantung kanan yang besar itu menghasilkan tekanan yang tinggi dalam arteri pulmonalis sehingga dapat mendorong darah melalui kapiler paru yang telah



sangat melebar. Pengangkutan oksigen oleh darah ke jaringan juga jauh lebih mudah pada orang-orang diatas. (Guyton and Hall, 1996).

### **Kapasitas Kerja Tubuh pada Saat Berlatih atau Bertanding di Tempat Tinggi pada Efek Aklimatisasi**

Atlet pada saat penyesuaian berlatih atau memulai bertanding di tempat tinggi akan mengalami berbagai hal. Seperti depresi mental yang disebabkan oleh hipoksia, seperti yang telah diuraikan diatas, kapasitas kerja semua otot juga ternyata sangat menurun pada hipoksia. Bukan hanya otot rangka tetapi otot jantung juga dipengaruhi, sehingga curah jantung maksimal juga berkurang. Secara umum, dapat dikatakan bahwa kapasitas kerja berkurang sebanding dengan ambilan oksigen maksimal yang dapat dicapai oleh tubuh.

Untuk memberikan gambaran tentang pentingnya aklimatisasi terhadap kapasitas kerja tubuh saat berlatih ataupun bertanding perlu memperhatikan hal dibawah ini: Kapasitas kerja dihitung dalam nilai persetase normal bagi atlet-atlet yang tidak beraklimatisasi dan beraklimatisasi pada ketinggian 17.000 kaki, seperti yang dicantumkan berikut ini: (Guyton and Hall, 1996)

	<b>Persen</b>
Tidak beraklimatisasi	50
Aklimatisasi selama dua bulan	68
Penduduk yang tinggal di ketinggian 13.200-17.000	87

Jadi, penduduk yang beraklimatisasi secara alami, sehari-hari dapat bekerja di tempat tinggi hampir sama dengan orang normal yang tinggal di tempat setinggi permukaan laut, tetapi penduduk dari tempat rendah yang kemudian beraklimatisasi baik hampir tidak pernah mencapai hasil sebaik itu.

### **KESIMPULAN**

Atlet dan pelatih saat akan berlatih ataupun bertanding di tempat tinggi perlu memperhatikan tekanan udara ditempat tersebut untuk menyesuaikan aklimatisasi pada tempat tersebut. Perubahan aklimatisasi ini akan mempengaruhi terhadap tubuh atlet seperti pada tekanan oksigen (O<sub>2</sub>) berbanding lurus dengan tekanan udara (barometer) namun berbanding terbalik dengan ketinggian. Apabila kondisi tekanan O<sub>2</sub> yang rendah akan menimbulkan hipoksia. Ada beberapa efek akut dari hipoksia :

1. Mengantuk, malas, kelelahan mental dan otot-otot
2. Kadang-kadang sakit kepala, mual, dan euforia
3. Kedutan (twitching) atau kejang
4. Koma

Aklimatisasi ada 2 macam :

1. Aklimatisasi biasa :

Tinggal di suatu tempat (ketinggian) selama beberapa hari, minggu, tahun sehingga efek buruk PO<sub>2</sub> yang rendah terhadap tubuh semakin berkurang.

2. Aklimatisasi alami :

Proses aklimatisasi yang dimulai sejak bayi.

Tujuan dari makalah ini adalah untuk menambah pengetahuan bagi atlet dan pelatih dapat dijadikan sumber referensi dalam mempelajari penampilan atlet ketika latihan atau bertanding pada tempat ketinggian yang berbeda.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Direktorat Kesehatan TNI AU 1995. *Dasar-Dasar Ilmu Kesehatan Penerbangan*. Jakarta : Direktorat Kesehatan TNI AU.

Foss M.L., Ketenyan S.J. 1998. *Fox's Physiological basis of Exercise and Sport 6<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill Company.

Ganong F.W., 1999, *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*, Edisi 17, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta

Guyton AC, Hall JE. 1996, *Textbook of medical physiology*. 9<sup>th</sup> ed. Philadelphia: WB Saunders Company; .