

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsumsi Oksigen Maksimal (VO_2 maks)

a. Definisi VO_2 Maks

VO_2 maks adalah nilai konsumsi oksigen maksimum yang dapat dikonsumsi oleh seseorang. VO_2 maks digunakan sebagai parameter kebugaran kardiorespirasi selama melakukan tes latihan pengukuran (Nitinet *al.*, 2013). Kemampuan sistem kardiorespirasi (jantung, paru-paru, darah) dalam mentransportasikan oksigen ke seluruh tubuh selama melakukan latihan akan mempengaruhi nilai VO_2 max (Jameset *al.*, 2013). Nilai VO_2 maks merupakan indikator secara langsung untuk menilai kemampuan otot dalam menggunakan energi selama melakukan olahraga aerobik (Bojanet *al.*, 2011). VO_2 maks dapat dinyatakan sebagai nilai konsumsi oksigen maksimal dalam milimeter selama satu menit per kilogram berat badan (Vemaet *al.*, 2009). Nilai VO_2 maks dibagi menjadi dua yaitu nilai VO_2 absolut dan nilai VO_2 relatif. Nilai VO_2 absolut adalah jumlah oksigen maksimal yang digunakan oleh tubuh yang dinyatakan dalam l/menit. Sedangkan nilai VO_2 relatif adalah jumlah oksigen maksimal yang digunakan oleh tubuh per kilogram berat badan yang dinyatakan dalam ml/kg/menit (Cheatham, 2013).

b. Faktor-faktor yang mempengaruhi VO_2 max

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai VO_2 maks dapat diuraikan sebagai berikut:

1) Jenis kelamin

Perempuan memiliki volume paru-paru yang lebih kecil dibandingkan dengan laki-laki sehingga ventilasi maksimalnya lebih sedikit. Perbedaan hormonal antara pria dan perempuan menyebabkan perempuan memiliki konsentrasi hemoglobin lebih rendah dan lemak tubuh lebih besar. Massa otot yang lebih kecil pada perempuan akan mempengaruhi nilai VO_2 maks. Nilai VO_2 maks anak laki-laki usia 10 tahun akan lebih tinggi dibanding anak perempuan seusianya. Pada usia 16 tahun nilai VO_2 maks pada anak laki-laki akan meningkat menjadi 37% dibanding anak perempuan (Amstrong, 2006).

2) Usia

Anak laki-laki mulai usia 10 tahun mempunyai nilai VO_2 maks lebih tinggi dibanding dengan anak perempuan pada usia yang sama. Puncak nilai VO_2 maks dicapai pada usia 18 sampai 20 tahun untuk kedua jenis kelamin (Amstrong, 2006). Saat memasuki usia pertengahan, nilai VO_2 maks akan mengalami penurunan, yakni menurun kurang lebih 10% per dekade (Hawskin & Wiswell, 2003).

3) Komposisi tubuh

Komposisi tubuh menggambarkan komponen utama tubuh yang terdiri atas otot dan lemak. Untuk menilai komposisi tubuh seseorang dapat dengan mengukur nilai indeks massa tubuh yaitu dengan menghitung tinggi badan dan berat badan. Tinggi badan dinyatakan dalam sentimeter (cm) dan berat badan dinyatakan dalam kilogram (kg). Persen lemak tubuh dapat diukur menggunakan *skinfold test* yang dinyatakan dalam milimeters dengan mengukur pada tiga bagian di sebelah kanan tubuh yaitu abdomen, dada dan paha pada pria sedangkan perempuan pada paha, triceps dan *suprailiac* (Pribis et al., 2010). Hormon estrogen pada perempuan dapat meningkatkan penimbunan lemak terutama pada payudara, paha dan jaringan subkutan (Guyton & Hall, 2008).

Tabel 2. Klasifikasi Indeks Massa Tubuh (IMT) menurut kriteria Asia Pasifik

Klasifikasi Indeks Massa Tubuh (IMT)	
Klasifikasi	Indeks massa tubuh (kg/m^2)
Berat badan kurang	<18,5
Normal	18,5-22,9
Berat badan lebih	>23
Beresiko	23 - 24,9
Obese I	25 - 29,9
Obese II	>30

4) Latihan

Konsumsi oksigen normal pada pria dewasa muda sewaktu istirahat adalah sekitar 250ml/menit. Nilai tersebut akan meningkat sekitar 20 kali lipat pada seorang atlet yang terlatih dengan baik. Berdasarkan penelitian yang

telah dilakukan diketahui bahwa suatu kelompok subjek yang mengikuti program latihan selama 7 sampai 13 minggu dapat meningkatkan nilai VO_2 maks sekitar 10% (Guyton&Hall,2008).

5) Genetik

Genetik mempengaruhi perbedaan tipe serabut otot. Tipe serabut otot ada dua yaitu serabut otot cepat dan serabut otot lambat. Perbedaan inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan nilai VO_2 maks sekitar 10% sampai 30% pada orang yang melakukan latihan sama tetapi berasal dari ras yang berbeda (Kravitz, 2002).

6) Ketinggian tempat

Ketinggian suatu tempat berbanding terbalik dengan kadar oksigen di udara. Kadar oksigen yang rendah akan menurunkan nilai konsumsi oksigen (VO_2 maks). Kadar oksigen yang rendah juga akan menyebabkan kerja paru-paru dalam pengambilan oksigen meningkat sehingga frekuensi nafas juga meningkat(Firmansyah,2008).

c. Pengukuran VO_2 max

Untuk mengukur nilai VO_2 max dapat dilakukan beberapa tes. Tes yang digunakan harus yang mudah dilakukan dan tidak perlu keterampilan khusus untuk melakukannya. Beberapa tes yang sering digunakan, diantaranya:

1) Tes ergometer sepeda

Tes ini menggunakan sepeda statis dimana probandus diminta untuk mengkayuh untuk mendapatkan beban kerja. Ergometer sepeda dapat dilakukan dalam posisi tegak lurus maupun supinasi. Elektrokardiogram juga terpasang untuk merekam kerja jantung. Parameter dalam tes ini adalah frekuensi denyut nadi dan beban kerja. Dalam pelaksanaannya, probandus juga diukur tekanan darahnya pada saat permulaan dan akhir tes. Kriteria probandus untuk melakukan tes ini adalah sehat dan sudah makan minimal dua jam sebelum melakukan tes. Interpretasi nilai VO_2 maks dapat dilihat menggunakan tabel Astrand(Kartawa, 2003).

2) *Treadmill*

Beberapa metode yang digunakan dalam tes ini adalah (1) Metode Mitchell, Sproule, dan Chapman, (2) Metode Saltin-Astrand, dan (3) Metode OSU. Keuntungan dari tes ini adalah menggunakan nilai beban kerja yang konstan, kemudahan dalam pengaturan beban kerja dan tes ini sangat mudah dilakukan karena semua orang terbiasa melakukannya. Akan tetapi, alat ini mahal dan berat sehingga tidak praktis untuk digunakan (Kartawa, 2003).

3) *Field test*

Tes ini sangat mudah untuk dilakukan karena tidak memerlukan alat khusus dalam pelaksanaannya. Probandus diminta berlari berdasarkan

jarak atau waktu tertentu. Beberapa variasi dari tes ini adalah: (1) *12 minute run*, (2) *1,5 mile runden* (3) *2,4 km run test* (Kartawa, 2003).

4) *Step test*

Kata kunci dari tes ini adalah jumlah langkah per menit dan tinggi bangku yang digunakan untuk menghasilkan beban kerja. Probandus diminta untuk naik turun bangku bergantian kaki sesuai irama metronom. Tes ini mudah dilakukan dan tidak memerlukan biaya yang besar, namun beban kerja yang konstan sulit ditentukan karena kelelahan yang timbul saat berlangsungnya tes berbeda setiap orang. Nilai VO_2 maks dapat ditentukan berdasarkan normogram Astrand menggunakan denyut nadi dan berat badan probandus. Beberapa variasi tersebut misalnya: (1) *Harvard Step Test*, (2) *Queen's College Step Test*, (3) *Tuttle Step Test*, (4) *Ohio Step Test*, (5) *YMCA Step test*, dan (6) *Tecumseh Step Test*. *Harvard step test* merupakan tes pengukuran kemampuan aerobik paling tua yang dibuat oleh Brouha tahun 1943. Tes ini menggunakan bangku setinggi 50 inchi (20 kaki) dan dilakukan selama 5 menit (Kartawa, 2003). Isnaini (2013) menjelaskan bahwa salah satu rumus yang digunakan untuk menghitung nilai VO_2 maks yaitu :

$$\text{Durasi NTB (detik)} \times \frac{100}{5,5 \times \text{DN 1}}$$

Keterangan :

NTB (detik) = durasi naik turun bangku

DN 1 = denyut nadi pertama

Interpretasi hasil:

Kebugaran jelek ≤ 50

Kebugaran rata-rata = 50-80

Kebugaran baik ≥ 80

B. Letak Geografis

Letak geografis adalah letak suatu wilayah yang ditinjau berdasarkan fenomena- fenomena alam yang membatasinya, seperti: gunung, lautan, sungai, benua dan samudera. Berdasarkan letak geografisnya, Indonesia berada diantara dua samudera, yaitu Samudera Indonesia dan Samudera Pasifik serta dua benua yaitu benua Asia dan benua Australia. Berdasarkan letak geografisnya, negara Indonesia merupakan negara yang luas sehingga Indonesia dikenal sebagai Negara Kepulauan. Indonesia terdiri atas kurang lebih 17.000 pulau yang tersebar dari Sabang sampai Marauke dengan luas daratan 1.922.570 km² dan luas perairan 3.257.483 km² (Sanjose, 2011).

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang terletak di Jawa Tengah. Batas selatan D.I Yogyakarta adalah lautan Indonesia dan bagian timur laut, tenggara, barat dan barat laut dibatasi oleh provinsi Jawa Tengah yang meliputi kabupaten Klaten di sebelah timur laut, kabupaten Wonogiri di sebelah tenggara, kabupaten Puworejo di sebelah barat dan kabupaten Magelang di sebelah barat laut. Berdasarkan satuan fisiografis, Daerah Istimewa Yogyakarta terdiri dari Pegunungan Selatan, Gunung berapi

Merapi, dataran rendah antara Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulonprogo, Pegunungan Kulonprogo dan Dataran Rendah Selatan (BPS DIY, 2013).

Daerah Istimewa Yogyakarta terdiri atas lima Kabupaten yaitu Kulonprogo, Bantul, Gunung Kidul, Sleman dan Yogyakarta. Daerah Kabupaten Sleman yang tergolong wilayah pegunungan dengan ketinggian >500 m di atas permukaan laut yaitu kecamatan Tempel, kecamatan Turi, kecamatan Pakem dan kecamatan Cangkringan.

Tabel 3. Ketinggian Wilayah Kabupaten Sleman

No	Kecamatan	Ketinggian tempat (m)				Jumlah
		<100 m dpl (ha)	100-499 m dpl (ha)	500 -999 m dpl (ha)	>999 m dpl (ha)	
1	Moyudan	2.407	355	-	-	2.762
2	Minggir	357	2.370	-	-	2.727
3	Godean	209	2.475	-	-	2.684
4	Seyegan	-	2.663	-	-	2.663
5	Tempel	-	3.172	77	-	3.249
6	Gamping	1.348	1.577	-	-	2.925
7	Mlati	-	2.852	-	-	2.852
8	Sleman	-	3.132	-	-	3.132
9	Turi	-	2.076	2.155	78	4.039
10	Pakem	-	1.664	1.498	1.222	4.384
11	Ngaglik	-	3.852	-	-	3.852
12	Depok	-	3.555	-	-	3.555
13	Kalasan	-	3.584	-	-	3.584
14	Berbah	1.447	852	-	-	2.299
15	Prambanan	435	3.700	-	-	4.135
16	Ngemplak	-	3.571	-	-	3.571
17	Cangkringan	-	1.796	2.808	195	4.799
	Jumlah	6.203	43.246	6.538	1.495	57.482

Sumber: *Dinas Pengendalian Pertanahan Daerah Kabupaten Sleman 2012.*

Daerah Kabupaten Bantul tergolong dalam wilayah dataran rendah karena ketinggian wilayahnya < 500 m di atas permukaan laut. Kabupaten Bantul terdiri atas 17 kecamatan yaitu kecamatan Srandaka, kecamatan Sanden, kecamatan Kretek, kecamatan Pundong, kecamatan Bambanglipuro, kecamatan Pandak, kecamatan Bantul, kecamatan Imogiri, kecamatan Dlingo, kecamatan Pleret, kecamatan Piyungan, kecamatan Sewon, kecamatan Kasihan, kecamatan Pajangan dan kecamatan Sedayu.

Tabel 4. Ketinggian Wilayah Kabupaten Bantul

No	Kecamatan	Ketinggian tempat (m)				Jumlah
		<100 m dpl (ha)	100-499 m dpl (ha)	500 - 999 m dpl (ha)	>999 m dpl (ha)	
1	Srandakan	1.834	-	-	-	1.834
2	Sanden	2.327	-	-	-	2.327
3	Kretek	2.449	101	-	-	2.550
4	Pundong	2.177	1.99	-	-	2.376
5	Bambanglipuro	2.282	-	-	-	2.282
6	Pandak	2.429	-	-	-	2.429
7	Bantul	2,199	-	-	-	2.199
8	Jetis	2.549	11	-	-	2.560
9	Imogiri	3.509	2.272	-	-	5.781
10	Dlingo	815	4.819	-	-	5.634
11	Pleret	1.783	345	-	-	2.128
12	Piyungan	1.965	1.347	-	-	3.312
13	Banguntapan	2.154	475	-	-	2.629
14	Sewon	2.676	-	-	-	2.676
15	Kasihan	2.608	630	-	-	3.238
16	Pajangan	2.867	452	-	-	3.319
17	Sedayu	3.262	149	-	-	3.411
	Jumlah	39.885	10.800	-	-	50.685

Sumber: *Kantor Pertanahan Kabupaten Bantul 2012*

Berdasarkan letak provinsi Yogyakarta yang terdiri oleh pantai dan pegunungan, hal ini akan berdampak terhadap perubahan fisiologis tubuh pada

masing-masing masyarakat yang tinggal di tempat tersebut. Ketinggian suatu tempat akan mempengaruhi tekanan parsial oksigen di alveoli (Guyton & Hall, 2008).

a. Tekanan parsial oksigen

Tekanan oksigen (tekanan parsial) dalam paru-paru adalah 100 mmHg, maka tekanan oksigen dalam darah yang meninggalkan vena paru sama dengan 100mmHg (13,3 kPa). Udara inspirasi, udara ekspirasi dan udara alveolar tersusun atas tiga jenis gas yaitu oksigen, karbon dioksida dan nitrogen serta uap air. Menurut Hukum Boyle, tekanan parsial setiap gas sebanding persentase volume masing-masing gas dalam setiap campuran gasnya. Artinya, apabila tiga jenis gas tersebut yakni oksigen, karbon dioksida dan nitrogen menempati suatu ruang yang sama maka tekanan parsial masing-masing gas tersebut menyesuaikan kadarnya masing-masing (Green, 2009).

Tekanan parsial oksigen arteri pada penduduk yang asli bertempat tinggal di tempat tinggi hanya 40 mmHg, tetapi jumlah hemoglobin yang dimiliki lebih banyak sehingga jumlah oksigen dalam darah arteri penduduk tersebut pun lebih banyak dibandingkan dengan penduduk asli yang bertempat tinggal di tempat rendah (Guyton & Hall, 2007). Peran dari hemoglobin adalah untuk mengangkut O_2 ke jaringan dan mengembalikan CO_2 dan proton ke paru-paru (Murray et al., 2009).

b. Adaptasi fisiologis

Pada masyarakat yang telah tinggal di tempat yang tinggi maka, tekanan parsial oksigen udara inspirasi yang rendah maka akan terjadi peningkatan jumlah sel darah merah sebagai proses aklimatisasi. Peningkatan jumlah eritrosit ini dipicu oleh peningkatan eritropoetin (zat humoral yang dibentuk oleh ginjal yang merangsang pembentukan eritrosit) (Green, 2009). Jumlah eritrosit yang meningkat mengakibatkan peningkatan kadar hemoglobin yakni sekitar 15g/dl sampai 20 g/dl. Hemoglobin berperan dalam pengangkutan oksigen dan karbon dioksida dalam darah. Setiap sel darah merah mengandung kurang lebih 30 pikogram hemoglobin (Green, 2009). Hemoglobin meningkatkan kemampuan pengangkutan oksigen oleh darah sebanyak 70 kali (Ganong, 2002). Konsentrasi hemoglobin normal pada perempuan adalah 14 g/dl dan pria adalah 16g/dl (Green, 2009).

Tabel5. Batas Kadar Hemoglobin

Kelompok Umur	Batas Nilai Hemoglobin (gr/dl)	Kategori anemia (gr/dl)
Anak 6 bulan- 6 tahun	11	< 10
Anak 6 tahun -14 tahun	12	<11
Pria dewasa	13	<11
Ibu hamil	11	<10
Wanita dewasa	1	<11

Sumber : *Depkes RI, 1999*

Semenjak lahir masyarakat yang telah bertempat tinggal di tempat yang tinggi ternyata memiliki ukuran jantung lebih besar dibanding orang yang

tinggal di tempat yang rendah dikarenakan tugas jantung untuk memompa darah yang lebih besar. Mereka memiliki ukuran dada yang lebih besar sedangkan ukuran tubuhnya sedikit mengecil (Guyton & Hall, 2008).

c. Pengangkutan oksigen

Pengangkutan oksigen menuju jaringan dalam tubuh tertentu bergantung pada jumlah oksigen yang masuk ke dalam paru-paru, pertukaran gas dalam paru-paru, aliran darah yang menuju jaringan dan kapasitas darah untuk mengangkut oksigen. Jumlah oksigen yang ada dalam darah ditentukan dari jumlah oksigen yang larut, jumlah hemoglobin dalam darah serta afinitas hemoglobin terhadap oksigen.

Pengangkutan oksigen dilalui oleh dua cara oleh darah yakni:

1) Larut dalam plasma

Jumlah oksigen yang larut dalam plasma sebanding dengan tekanannya.

2) Terikat pada hemoglobin dalam sel darah merah

Jumlah oksigen yang terikat pada hemoglobin tergantung pada tekanannya, namun hubungannya dinyatakan dalam kurva disosiasi oksigen.

d. Tekanan barometer di ketinggian

Tekanan barometer pada ketinggian permukaan laut adalah sekitar 760mmHg. Hal ini juga akan mempengaruhi perubahan-perubahan kecil pada tekanan parsial oksigen dan nitrogen. Pada ketinggian 18.000 kaki,

tekanan barometer berkurang menjadi 380 mmHg. Di luar angkasa yang ketinggiannya lebih dari 100 mil, tekanan barometer mendekati 0 mmHg. Apabila suatu ruang mengandung 21% oksigen dan 79% nitrogen dalam tekanan barometer 760 mmHg, maka tekanan parsial oksigen menjadi 21% dari 760mmHg= 160mmHg dan tekanan parsial nitrogen adalah 79% dari 760mmHg=600mmHg(Green, 2009).

e. Respon pernafasan terhadap kekurangan oksigen

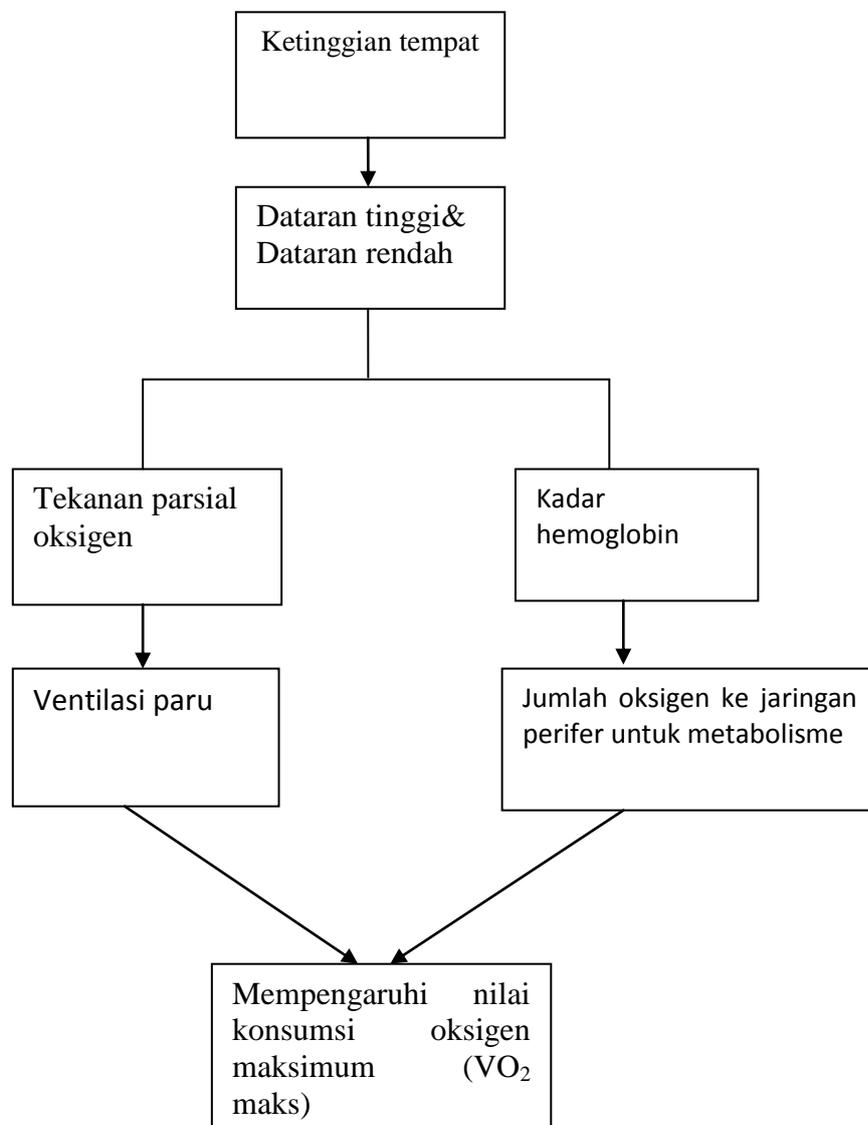
Penurunan kandungan oksigen udara inspirasi akan meningkatkan volume pernafasan semenit. Selama PO_2 masih diatas 60mmHg, perangsangan pada pernafasan hanya ringan saja dan perangsangan ventilasi yang kuat hanya terjadi apabila nilai PO_2 turun lebih rendah. Sebelum PO_2 turun lebih rendah dari 60mmHg, tidak menimbulkan kenaikan ventilasi. Apabila PO_2 darah arteri berkurang dan hemoglobin kurang berikatan dengan oksigen akan timbul sedikit penurunan H^+ dalam darah arteri dimana akan menghambat pernafasan (Ganong, 2002).

f. Frekuensi pernafasan

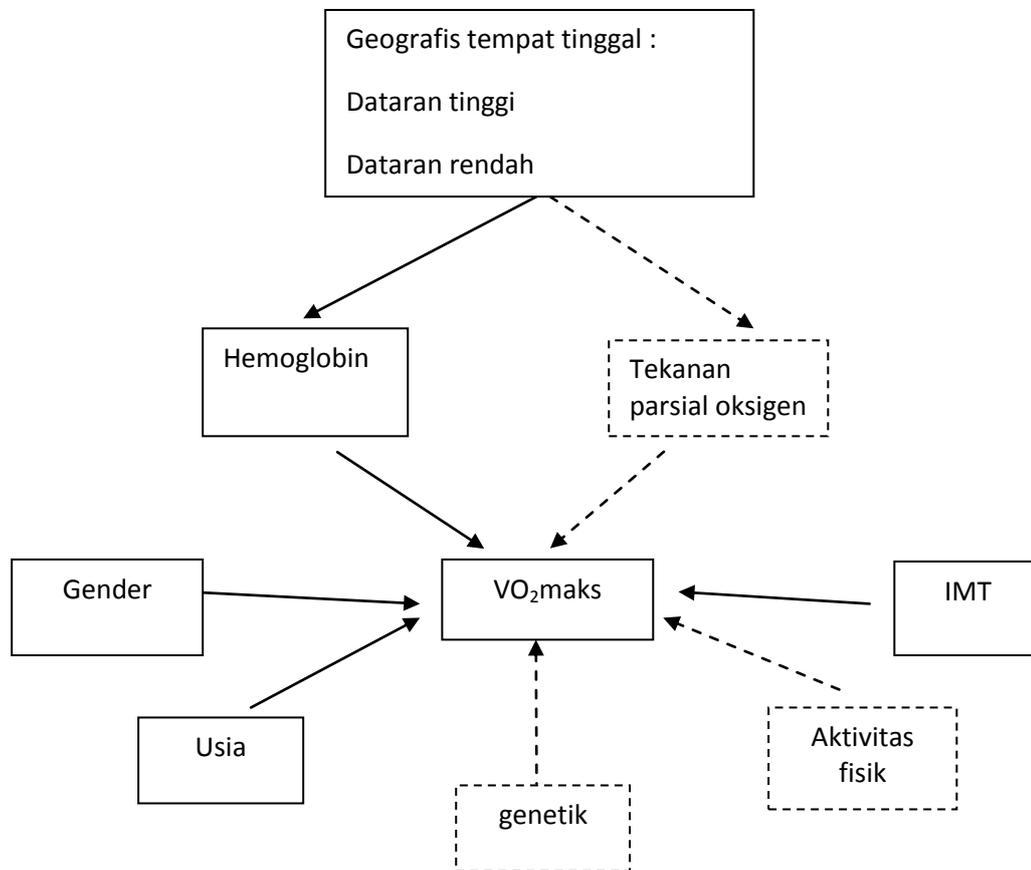
Frekuensi pernafasan juga meningkat seiring dengan ketinggian tempat. Kerja paru-paru akan meningkat sebagai respon dari insiprasi oksigen yang rendah sehingga menyebabkan pengambilan nafas menjadi cepat dan peningkatan ventilasi paru. Para pendaki gunung yang sedang mendaki akan menjadi cepat lelah dan nafasnya terputus-putus saat mencapai puncak. Frekuensi nafas istirahat adalah 15-20 per menit. Pernafasan dalam tubuh terbagi atas dua proses yaitu pernafasan luar (eksternal) yaitu

penyerapan oksigen dan pengeluaran CO₂ dari tubuh secara keseluruhan dan pernafasan internal adalah penggunaan oksigen dan pembentukan CO₂ oleh sel-sel serta pertukaran gas antara sel-sel tubuh dengan media cair sekitarnya (Ganong, 2002). Satu kali bernafas sekitar 500mL udara atau 6-8 L udara per menit dimasukkan dan dikeluarkan dari paru-paru(Ganong, 2002).

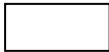
B. Kerangka Teori



C. Kerangka Konsep



Keterangan :

 : Variabel yang diteliti

 : Variabel yang tidak diteliti

D. Hipotesis

Terdapat hubungan perbedaan letak geografis tempat tinggal terhadap parameter kardiorespirasi (VO_2 maks).