

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN

2.1. Kajian Pustaka

2.1.1 Kebugaran dan Konsep VO_2 maks

Kebugaran adalah kesanggupan dan kemampuan tubuh dalam melakukan penyesuaian (adaptasi) terhadap pembebanan fisik yang diberikan kepadanya dari kerja yang dilakukan sehari-hari tanpa menimbulkan kelelahan yang berlebihan.⁴ Pendapat lain mengatakan bahwa kebugaran adalah kemampuan mengambil, mengedarkan dan menggunakan oksigen yang menyangkut seluruh sistem dan organ tubuh yang berhubungan dengan kesehatan pada umumnya.⁴

Kebugaran biasanya didefinisikan dengan komponen-komponennya. Komponen kebugaran meliputi daya tahan kardivaskuler (*cardiovascular endurance*), kekuatan otot (*muscle strength*), tenaga ledak otot (*muscle explosive power*), kecepatan (*speed*), kelenturan (*flexibility*), koordinasi (*coordination*). Dari semua komponen, daya tahan kardivaskuler (*cardiovascular endurance*) merupakan faktor utama dalam kebugaran.¹³

Peningkatan (VO_2 maks) secara akut dapat meningkatkan penghantaran oksigen ke sel. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan pembentukan energi tingkat seluler yang menghasilkan ATP, sehingga metabolisme sel berfungsi dengan baik.¹³ Pada efek yang lebih makro, apabila dilihat dari aspek pekerjaan/tugas maka kebugaran berbanding lurus dengan tingginya kemampuan belajar bagi pelajar dan mahasiswa.⁴

Tingkat kebugaran seseorang dapat diukur dari berbagai macam komponen kesehatan. Salah satu komponen kesehatan yang menjadi tolak ukur dari kebugaran adalah daya tahan sistem kardiorespirasi yang merupakan kemampuan berkesinambungan antara sistem jantung dan pernapasan dalam mengedarkan darah, oksigen, serta nutrisi untuk memenuhi kebutuhan jaringan tubuh. Salah satu gambaran tingkat kebugaran adalah konsumsi oksigen maksimal ($VO_{2 \text{ maks}}$).⁵ Istilah $VO_{2 \text{ maks}}$ berasal dari V (volume) dan O_2 (oksigen).⁶ Konsumsi oksigen maksimal atau $VO_{2 \text{ maks}}$ adalah konsumsi oksigen maksimal yang terukur pada saat seseorang tidak dapat meningkatkan konsumsi oksigen meskipun beban ditingkatkan.⁵

Konsumsi oksigen yang normal bagi seorang pemuda saat istirahat adalah sekitar 250 ml/menit. Namun, dalam kondisi maksimal, dapat ditingkatkan menjadi 3600 ml/menit pada laki-laki tidak terlatih, 4000 ml/menit pada atlet laki-laki yang dilatih, dan 5100 ml/menit pada pria pelari maraton. Konsumsi oksigen dan ventilasi paru meningkat sekitar 20 kali lipat antara keadaan istirahat dan latihan intensitas maksimal pada atlet terlatih. $VO_{2 \text{ maks}}$ sering digunakan untuk membandingkan kinerja ketahanan fisik (*endurance*) atlet olahraga.⁷ Interpretasi nilai $VO_{2 \text{ maks}}$ menurut Kattus terdiri dari: *very poor, poor, fair, good, excellent and superior*.⁶

Tabel 2.1. Tabel klasifikasi kebugaran menurut Kattus

Umur	Rendah	Memadai	Sedang	Baik	Tinggi
Perempuan					
20-29	< 24	24 – 30	31 – 37	38 – 48	49+
30-39	< 20	20 – 27	28 – 33	34 – 44	45+
40-49	< 17	17 – 23	24 – 30	31 – 41	42+
50-59	< 15	15 – 20	21 – 27	28 – 37	38+
60-69	< 13	13 – 17	18 – 23	24 – 34	34+
TINGKAT KEBUGARAN					
Laki-laki					
20 – 29	< 25	25 – 33	34 – 42	43 – 52	53+
30 – 39	< 23	23 – 30	31 – 38	39 – 48	49+
40 – 49	< 20	20 – 26	27 – 35	36 – 44	45+
50 – 59	< 18	18 – 24	25 – 33	34 – 42	43+
60 – 69	< 16	16 – 22	23 – 30	31 – 40	41+

Komponen yang sangat mendukung peningkatan VO_2 maks adalah olahraga. VO_2 maks akan meningkat ketika seseorang melakukan program olahraga (*10,000-meter skating, Cross-country skiing, Marathon run (26.2 miles, 42.2 km), dan Jogging*) selama 7 sampai 13 minggu. Program olahraga ini menghasilkan peningkatan VO_2 maks sebesar 10 persen dari total kebutuhan oksigen maksimal sebelumnya.⁷ Selain itu, frekuensi pelatihan dua kali atau lima kali per minggu, memiliki sedikit efek pada peningkatan VO_2 maks.⁸

Peningkatan dari VO_2 maks ini tidak akan sama pada semua manusia dengan program olahraga karena terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi VO_2 maks. Faktor-faktor yang mempengaruhi dari VO_2 maks, diantaranya tipe olahraga, *heredity*, seks, ukuran dan komposisi tubuh dan usia.¹⁷

a. Tipe Latihan

VO_2 maks dipengaruhi cara latihan, tergantung pada bentuk latihan yang dilakukan dan kuantitas massa otot yang digunakan. Pada suatu penelitian yang dilakukan McArdle, W.D dengan judul *Comparison of Continuous and Discontinuous Treadmill and Bicycle Tests for Max VO_2* , menunjukkan bahwa dengan melakukan *treadmill* akan menghasilkan VO_2 maks lebih tinggi dibandingkan dengan melakukan *bicycle ergometer*. Berenang pada seorang yang tidak terlatih akan menghasilkan VO_2 maks 20% lebih rendah dibandingkan olahraga dengan menggunakan *treadmill*. Sedangkan berenang pada atlet terlatih akan menghasilkan VO_2 maks 11% lebih rendah dibanding dengan *treadmill*.¹⁷

b. Genetik

Pengetahuan tentang interaksi faktor keturunan dengan latihan sangat penting untuk dipahami. Setiap individu memiliki respon latihan yang bervariasi, khususnya respon terhadap kesehatan. Hal ini menimbulkan banyak pertanyaan mengenai hubungan genetik dengan kapasitas fisiologi dan metabolisme suatu individu.¹⁷

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bouchard, C dkk mengenai *Hereditary, Activity Level, Fitness and Health in Physical Activity, Fitness and Health* menunjukkan bahwa peran faktor genetik terhadap nilai VO_2 maks sebesar 20% sampai 30%, sedangkan pada denyut jantung 50% dan pada kapasitas kerja fisik sebesar 70%.¹⁷ Berikut tabel 2.1 yang menjelaskan perkiraan kontribusi faktor genetik pada komponen penting kebugaran fisik suatu individu:

Tabel 2.2. Perkiraan Peran Faktor Genetik pada Komponen Penting Kebugaran Fisik suatu Individu

Komponen kebugaran	Kontribusi faktor genetik (%)
a. VO_2 maks	20-30%
b. Respon olahraga	20-30%
c. Profil lemak darah	30-50%
d. Kebugaran otot	20-30%
e. Tekanan darah saat istirahat	30%
f. Total lemak tubuh	25%
g. Distribusi lemak	30%
h. Tingkat kebiasaan	30%

Dikutip dari : McArdle, Lippincott Williams & Wilkins. 1996¹⁷

c. Jenis Kelamin

Perempuan memiliki nilai VO_2 maks lebih rendah 15% sampai 30% dibandingkan dengan laki-laki. Perbedaan nilai VO_2 maks dikarenakan perbedaan komposisi tubuh dan konsentrasi hemoglobin dari laki-laki dan perempuan. Komposisi lemak tubuh perempuan lebih tinggi sekitar 26% dibandingkan laki-laki yang hanya 15%, hal ini akan mempengaruhi nilai VO_2 maks.¹⁷

Laki-laki memiliki massa otot yang lebih banyak dan komposisi lemak tubuh yang lebih sedikit dibandingkan perempuan, sehingga laki-laki dapat menghasilkan energi lebih banyak dibandingkan dengan perempuan. Kadar hemoglobin pada laki-laki yang lebih tinggi dibandingkan perempuan sekitar 10% sampai 14%. Hal ini dikarenakan laki-laki memiliki hormon testosteron yang lebih banyak dibandingkan perempuan, sehingga akan mempengaruhi enzim eritropoietin untuk menghasilkan sel darah merah (Hb) lebih banyak. Kadar hemoglobin pada tubuh akan mempengaruhi kadar oksigen dalam darah.¹⁷

d. Ukuran dan Komposisi Tubuh

Perbedaan nilai VO_2 maks diperkirakan mencapai 69% pada setiap individu yang memiliki variasi massa tubuh. Ukuran dan komposisi tubuh individu

berpengaruh pada ambilan oksigen oleh tubuh. Faktor yang berpengaruh terhadap ambilan oksigen adalah luas permukaan tubuh, massa tubuh, massa lemak bebas di dalam tubuh dan volume dari ekstremitas. Berdasarkan kadar VO_2 maks, perempuan memiliki ambilan oksigen yang lebih rendah dibandingkan laki-laki sebesar 20 persen.¹⁷

Untuk menentukan komposisi tubuh dapat juga dilakukan pengukuran dari indeks massa tubuh (IMT). Indeks massa tubuh merupakan perbandingan antara berat badan dengan tinggi badan dalam meter kuadrat. Peningkatan dari IMT menunjukkan adanya peningkatan dari lemak di dalam tubuh. Hal ini berkaitan dengan komposisi tubuh seseorang dan akan mempengaruhi VO_2 maks seseorang tersebut.¹⁸ Berikut tabel 2.3 yang menjelaskan perbedaan ambilan oksigen antara perempuan dan laki-laki berdasarkan kadar VO_2 maks, ukuran dan komposisi tubuh :

Tabel 2.3. Perbedaan Ambilan Oksigen antara Wanita dan Pria Berdasarkan Kadar VO_2 maks, Ukuran dan Komposisi Tubuh

Variabel	Perempuan	Laki-laki	Perbedaan antara perempuan dan laki-laki (%)
• VO_2 maks (L/menit)	2.00	3.50	-43%
• VO_2 maks (ml/kg/menit)	40.0	50.0	-20%
• Massa tubuh (kg)	50	70	-29%
• Presentasi lemak tubuh	25	15	67%
• Lemak bebas dalam tubuh (kg)	37,5	59,5	-37%

Dikutip dari : McArdle W. Lippincott Williams & Wilkins.1996¹⁷

e. Usia

Usia individu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi ambilan oksigen pada individu. Pada penelitian yang dilakukan oleh Krahenbuhl, G.S

mengenai *Developmental Aspect of Maximal Aerobic powe in Children* menjelaskan mengenai kadar VO_2 maks antara anak laki-laki dan anak perempuan pada umur 12 tahun tidak menunjukkan perbedaan. Ketika memasuki umur 14 tahun VO_2 maks pada anak laki-laki lebih besar 25% dibandingkan anak perempuan. Pada usia 16 tahun perbedaannya semakin meningkat hingga mencapai 50%.¹⁷

Perbedaan ini dipengaruhi oleh massa otot pada anak laki-laki yang lebih banyak dibandingkan anak perempuan. Memasuki umur dewasa sekitar 25 tahun, kadar VO_2 maks baik pria dan wanita mengalami penurunan sebesar 1% per tahunnya. Sehingga pada usia 55 tahun kadar VO_2 maks akan menurun sebesar 20% dibandingkan kadar VO_2 maks pada usia 20 tahun.¹⁷

2.1.1.1 Pengukuran VO_2 maks

Tujuan Pengukuran VO_2 maks dilakukan untuk mengukur daya tahan kardiovaskular, daya tahan otot, kekuatan otot, kelenturan dan komposisi tubuh.¹³ Hasil pengukuran VO_2 maks di dapat dari hasil pengukuran kapasitas fungsional dari sistem kardiovaskular dan paru-paru, dimana kedua sistem tersebut yang berperan dalam pengiriman oksigen ke dalam sel. Hasil pengukuran VO_2 maks ini dapat menentukan kapasitas metabolisme aerobik dan kebugaran seseorang.¹³

Menilai VO_2 maks dapat menggunakan cara menghubungkan nilai VO_2 maks dengan denyut jantung. Denyut jantung diukur setelah dilakukannya lari dengan menggunakan *treadmill*, *cycle ergometer* atau *step test*. Ketiga tes tersebut dilakukan untuk menilai detak jantung. Metode paling mudah untuk dilakukan adalah *step test*, karena tes ini tidak membutuhkan waktu yang lama dan tidak

membutuhkan peralatan yang banyak.¹⁹ Salah satu contoh dari *step test* adalah tes bangku *Astrand-Ryhming*.¹³

Test bangku *Astrand-Ryhming*, berawal dengan subjek yang memasangkan transmitter pada sternum di bawah otot pektoralis yang dipakai senyaman mungkin. Kemudian memasang *heart rate wrist watch receiver* dan mencatat denyut jantung awal. Mulai pengukuran dengan melangkahhkan kaki naik & turun step setinggi 40 sentimeter mengikuti irama metronome yang telah diatur kecepatannya, selama lima menit. Melihat dan mencatat denyut jantung setiap menit serta mencatat denyut jantung pada akhir menit ke lima. Memasukan data berat badan dan denyut jantung ke dalam *Astrand-ryhming Nomogram* sesuai dengan jenis kelamin. Melihat tabel estimasi oksigen *uptake* sesuai dengan usia dan memasukan data hasil dari *Nomogram* ke dalam Tabel Kalkulasi VO_2 maks berdasarkan berat badan. Mencocokkan hasil dari tabel kalkulasi VO_2 maks berdasarkan berat badan dengan tabel klasifikasi kebugaran menurut Kattus.¹³

2.1.2 Sistem Respirasi

Respirasi terdiri dari tiga tahap, yaitu ventilasi paru atau bernafas (inhalasi dan ekshalasi), respirasi eksternal, dan respirasi internal.^{7,20,21} Ventilasi paru atau bernafas adalah proses inhalasi dan ekshalasi udara serta melibatkan pertukaran udara antara atmosfer dan *alveoli* paru-paru.²⁰ Respirasi eksternal adalah pertukaran gas antara *alveoli* dan pembuluh kapiler paru yang melewati *blood air barrier*. Pada proses ini pembuluh kapiler paru menerima oksigen dan melepaskan karbon dioksida.²⁰ Respirasi internal adalah pertukaran gas antara pembuluh kapiler sistemik dan sel jaringan. Pada proses ini pembuluh kapiler sistemik

menerima karbon dioksida dan melepaskan oksigen ke sel yang berperan dalam metabolisme sel.²⁰

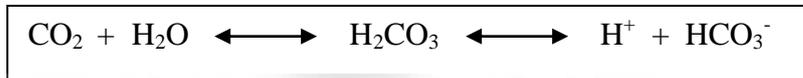
Asupan oksigen normal pada orang dewasa adalah 250 ml/menit.⁷ Oksigen digunakan sebagai gas untuk pembentukan energi.²² Pada saat melakukan aktifitas fisik, indeks aktifitas metabolisme dinyatakan sebagai konsumsi oksigen (VO_2).⁷ Pada menit pertama, konsumsi oksigen akan meningkat secara cepat dan pada menit ketiga hingga keempat terdapat kurva mendatar yang menandakan keseimbangan antara energi yang dibutuhkan akibat aktifitas otot dengan produksi ATP melalui metabolisme aerobik. Pada kondisi ini, walaupun aktifitas ditingkatkan, konsumsi oksigen akan tetap. Hal ini dinyatakan sebagai konsumsi oksigen maksimal ($VO_{2 \text{ maks}}$).⁵

2.1.2.1 Transport Oksigen dan Karbon dioksida

Oksigen yang masuk ke dalam tubuh pada saat inhalasi, 98,5 % ditransportasikan oleh hemoglobin dalam darah membentuk *oxyhemoglobin* (HbO_2) dan 1,5 % dari O_2 larut dalam plasma darah. Ikatan oksigen dengan hemoglobin berikatan secara longgar dan *reversible*. Keadaan tekanan parsial oksigen (PO_2) meningkat dalam pembuluh kapiler paru, akan meningkatkan ikatan O_2 dengan Hb dan ketika PO_2 rendah dalam pembuluh kapiler jaringan, akan memudahkan O_2 dilepaskan dari Hb.^{20,21}

Ada beberapa faktor yang dapat menggeser ikatan oksigen dengan hemoglobin. Pertama, keasaman atau pH, jika semakin asam maka ikatan Hb- O_2 menurun, sehingga O_2 mudah lepas ke jaringan. Kedua, tekanan parsial CO_2 , jika PCO_2 semakin meningkat maka semakin banyak CO_2 yang berikatan dengan Hb, dan semakin mudah Hb melepaskan O_2 .^{7,20}

Karbon dioksida yang masuk dalam darah akan dikonversi menjadi asam karbonat (H_2CO_3). Asam karbonat yang terbentuk dalam sel darah ini nantinya akan berdisosiasi menjadi ion hidrogen dan bikarbonat.^{7,20}



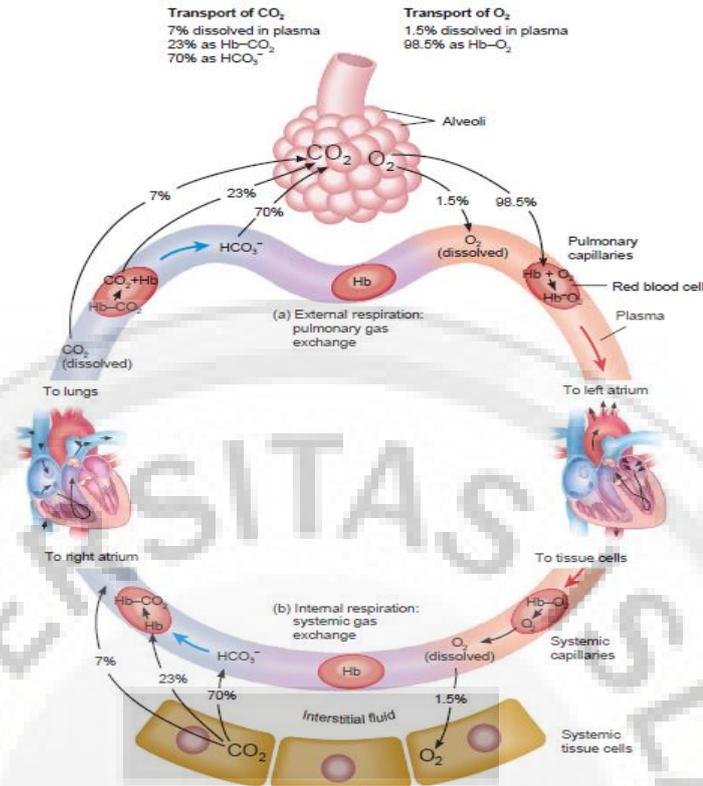
Gambar 2.1. Perubahan karbon dioksida dalam darah

Faktor ketiga adalah temperatur. Semakin meningkat temperatur, kadar O_2 yang dilepaskan dari Hb juga semakin tinggi. Keempat, BPG (*bisphosphoglycerate*) merupakan substansi yang ditemukan dalam sel darah merah dalam bentuk *2,3 bisphosphoglycerate*, dibentuk dalam sel darah merah dan dapat menurunkan afinitas Hb terhadap O_2 .^{7,20}

Sedangkan karbon dioksida ditransportkan dalam tiga bentuk, yaitu : pertama, 7% CO_2 terlarut dalam plasma dan setelah mencapai paru-paru, CO_2 difusi ke alveolar kemudian dikeluarkan, kedua, 23% CO_2 berikatan dengan Hb membentuk *carbaminohemoglobin* (HbCO_2). Pembentukan *carbaminohemoglobin* dipengaruhi oleh PCO_2 , dan ketiga, 70% dalam bentuk ion bikarbonat.^{7,20,21}



Gambar 2.2. Pengikatan karbon dioksida oleh hemoglobin dan perubahan karbon dioksida dalam darah

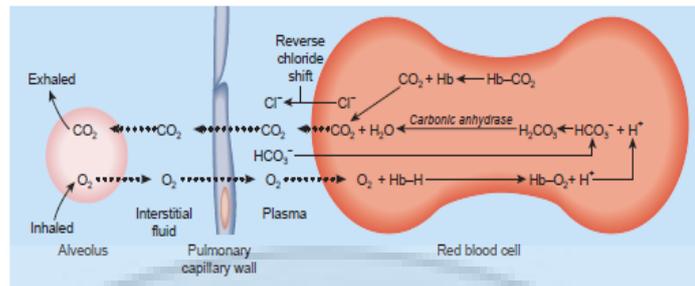


Gambar 2.3. Transportasi oksigen di dalam pembuluh darah

Dikutip dari : Tortora GJ. Wiley. 2009²⁰

2.1.2.2 Reaksi Kimia yang terjadi selama Pertukaran Gas

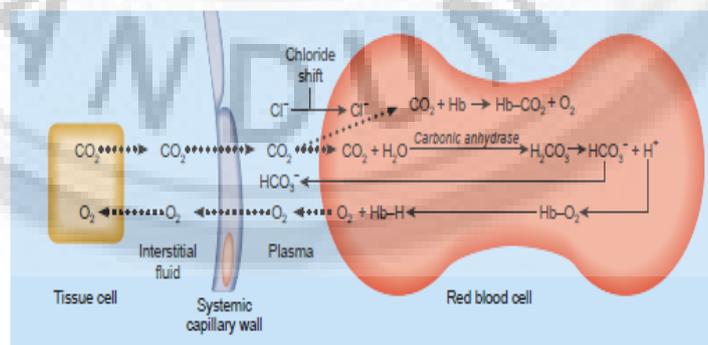
Karbon dioksida diekshalasikan terjadi karena PCO_2 di paru rendah, sedangkan PO_2 di paru tinggi sehingga O_2 mudah masuk ke sel darah merah. Hb dalam sel darah merah pada pembuluh kapiler paru melepas CO_2 dan mengambil O_2 dari *alveoli*. Akibatnya, O_2 berikatan dengan Hb-H, dan melepas H^+ . Bikarbonat (HCO_3^-) masuk ke sel darah merah berikatan dengan H^+ , membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Asam karbonat akan berdisosiasi menjadi CO_2 dan H_2O , CO_2 akan difusi dari darah ke *alveoli*. Untuk menjaga keseimbangan listrik, Cl^- akan keluar untuk setiap HCO_3^- yang masuk ke sel darah merah (*chloride shift*).^{20,21}



Gambar 2.4. Pertukaran O_2 dan CO_2 di dalam kapiler paru-paru (respirasi eksternal)

Dikutip dari : Tortora GJ. Wiley. 2009¹⁴

Karbon dioksida berdifusi keluar dari jaringan, lalu masuk ke sel darah merah dan berikatan dengan Hb membentuk $HbCO_2$ (*carbaminohemoglobin*). Hal ini terjadi karena PCO_2 di jaringan lebih tinggi daripada PO_2 di jaringan. Hal ini menyebabkan O_2 terdisosiasi dari HbO_2 . Karbon dioksida yang lainnya berikatan dengan air (H_2O), membentuk ion bikarbonat (HCO_3^-) dan ion hidrogen (H^+). Hb sebagai buffer H^+ , Hb akan melepaskan O_2 dan akan berikatan dengan H^+ . Untuk keseimbangan listrik, Cl^- masuk ke sel darah merah untuk setiap HCO_3^- yang keluar (*chloride shift*).^{20,21}



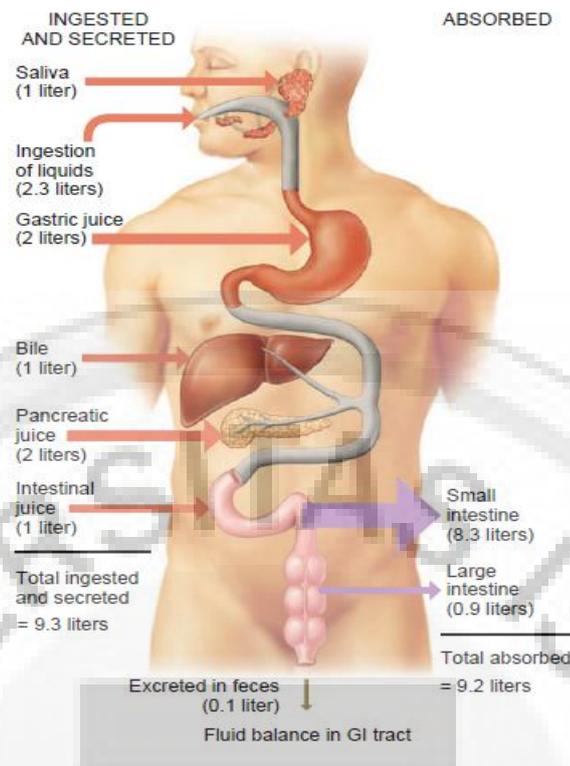
Gambar 2.5. Pertukaran O_2 dan CO_2 di dalam kapiler paru-paru (respirasi internal)

Dikutip dari : Tortora GJ. Wiley. 2009¹⁴

2.1.3 Penyerapan Air pada Usus Halus dan Usus besar

Penyerapan air di usus halus melalui dinding dari usus halus secara difusi. Air yang diserap akan melewati membran dari usus halus dan akan masuk ke dalam aliran darah.⁷ Air yang masuk ke dalam usus halus perharinya sebanyak 9.3 liter. Total cairan tersebut berasal dari cairan yang masuk melalui mulut sebanyak 2.3 liter dan sekresi dari sistem pencernaan sebanyak tujuh liter. Cairan yang disekresikan oleh sistem pencernaan berasal dari saliva sebanyak satu liter, *gastric juice* sebanyak dua liter, *Pancreatic juice* sebanyak dua liter dan *intestinal juice* sebanyak satu liter. Total air yang diserap oleh usus halus adalah 8.3 liter, dimana 0.9 liter akan diabsorpsi di dalam usus besar dan 0.1 liter akan diekskresikan melalui tinja (lihat gambar 2.5 Penyerapan dan ekskresi cairan pada usus halus).²⁰

Proses absorpsi air bergantung pada absorpsi elektrolit cairan dan nutrisi karena untuk menjaga keseimbangan osmosis dalam darah. Nutrisi dan elektrolit yang diabsorpsi akan mengakibatkan perubahan konsentrasi gradien dan menyebabkan air dapat diabsorpsi secara osmosis ataupun difusi. Air akan masuk ke dalam usus besar sebanyak 0.5 sampai 1 liter dan akan diserap sebanyak 0.1 sampai 0.2 liter secara osmosis, seperti di jelaskan pada gambar 2.5. Penyerapan air di usus besar bertujuan untuk menyeimbangkan cairan tubuh.²⁰



Gambar 2.6. Penyerapan dan ekskresi cairan pada usus halus

Dikutip dari :Tortora GJ. Wiley. 2009²⁰

2.1.3.1 Penyerapan Air Beroksigen

Air yang mengandung oksigen akan diabsorpsi pada sistem pencernaan dimulai dari mulut hingga saluran pencernaan lainnya. Air beroksigen akan diabsorpsi lima menit setelah dikonsumsi dan mencapai puncaknya dengan durasi satu jam yang dibuktikan oleh peningkatan dari PO_2 pada darah. Oksigen yang telah diserap oleh saluran pencernaan akan bertahan tiga sampai empat jam di dalam darah.²³

Air beroksigen akan diserap oleh kapiler yang ada di mulut dan juga saluran pencernaan lainnya. Setelah diserap air beroksigen akan masuk ke dalam aliran vena porta dan masuk ke dalam sirkulasi hati. Setelah masuk ke dalam sirkulasi hati, air beroksigen akan masuk ke sirkulasi tubuh melalui vena cava inferior dan masuk ke dalam jantung. Aliran darah dari jantung akan dipompakan

melalui ventrikel kiri ke aliran darah seluruh tubuh yang mengakibatkan peningkatan PO_2 di dalam darah. Oksigen yang terkandung di dalam air akan masuk ke dalam jaringan melalui proses hematogenous.²³

Konsumsi air beroksigen memiliki hubungan dengan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS). Radikal bebas dan senyawa oksigen reaktif yang diproduksi tubuh dalam jumlah normal berfungsi membunuh beberapa jenis bakteri dan jamur serta pengaturan pertumbuhan sel. Konsumsi air beroksigen memiliki efek negatif terhadap peningkatan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS). Pembentukan radikal bebas dan senyawa oksigen reaktif yang berlebihan dapat menyerang asam lemak tidak jenuh ganda dan membran sel, organel sel, atau DNA, selanjutnya dapat menyebabkan kerusakan struktur dan fungsi sel.²⁴

2.1.3.2 Penyerapan Air Berkarbonasi

Minuman berkarbonasi ini berasal dari karbon dioksida yang ditambahkan pada minuman sehingga memberikan rasa dan atau memiliki rasa asam. Jumlah karbon dioksida pada minuman biasanya 3-4 kali volume cairannya, tetapi banyak kasus, sulit untuk dikuantifikasikan karena volume karbon dioksida adalah fungsi temperatur dan tekanan udara di sekelilingnya.¹¹

Penelitian tentang pergerakan CO_2 pada saluran pencernaan masih sedikit dilakukan. Cairan yang diminum akan masuk ke dalam kerongkongan, lambung dan duodenum, dan tergantung pada aktivitas lambung pada saat menelan.¹¹ Pada percobaan yang dilakukan pada hewan coba (kucing), dengan pilorus dan kardia diikat untuk menahan 60cc gas yang disuntikkan. Sampel gas yang disuntikkan

oksigen (O_2), nitrogen (N_2), hidrogen (H_2), metana (CH_4), hidrogen sulfida (H_2S), dan karbon dioksida (CO_2). Hasil penelitian menunjukkan adanya pergerakan CO_2 dari lumen saluran pencernaan ke darah vena dan sebaliknya mengikuti hukum gas difusi. Tingkat difusi CO_2 melalui membran lambung ke dalam darah mencapai keseimbangan sekitar 80-90 menit.¹¹

Pergerakan cairan dari lambung ke duodenum tergantung pada aktivitas lambung pada saat menelan. Bagian dari cairan ke duodenum berlangsung cepat ketika ruang lambung kosong. Jika cairan berkarbonasi masuk saluran pencernaan, CO_2 yang terlarut dilepaskan ke dalam bentuk gas yang memicu mekanisme regurgitasi berupa bersendawa, selain itu diserap melalui membran duodenum kemudian masuk ke dalam aliran darah, dan sisanya ada yang menjadi flatus. Analisis flatus normal memproduksi rata-rata 7,5 persen CO_2 .¹¹

Tingkat penyerapan setiap gas dalam usus tergantung pada gradien tekanan parsial yang ada antara duodenum dan pembuluh darah vena. Pada penelitian yang dilakukan oleh Pogrund dan Steggerda (1948) yang menggunakan 500cc volume gas (nitrogen, oksigen, dan karbon dioksida) sebagai bahan penelitiannya, menyimpulkan bahwa rata-rata ketegangan CO_2 pembuluh darah vena adalah 52 mmHg, sehingga membatasi jumlah CO_2 yang diserap ke dalam pembuluh darah vena dari duodenum. Keseimbangan antara pembuluh darah vena dan dinding duodenum biasanya dicapai dalam waktu 90 menit. Jadi, CO_2 mudah melewati lambung dan membran usus, kemudian dengan cepat menyeimbangkan dengan pembuluh darah vena.¹¹

Karbon dioksida akan dipindahkan dalam cairan masuk ke lambung dan saluran usus. Keseimbangan karbon dioksida dicapai dengan cepat melalui proses

difusi. Pada uji binatang, menunjukkan bahwa konsumsi minuman berkarbonasi dapat menurunkan pH dan peningkatan PCO_2 pada darah arteri. Berdasarkan literatur, minuman berkarbonasi memiliki efek dapat meningkatkan $VO_{2 \text{ maks}}$ pada orang yang sedikit bekerja (pasif). Hal ini merupakan fakta yang sangat menakutkan berdasarkan persentase populasi yang mengkonsumsi minuman berkarbonasi setiap hari.¹¹

Selain memberikan efek positif, air berkarbonasi juga dapat memberikan efek negatif diantaranya dapat membuat perut terasa penuh dan menurunkan keinginan untuk makan. Konsumsi air berkarbonasi dalam jangka panjang dapat menimbulkan plak gigi hingga kerusakan pada gigi, meningkatkan risiko tulang rapuh, dan meningkatkan risiko obesitas.²⁵

2.2. Kerangka Pemikiran dan Hipotesis

2.2.1. Kerangka Pemikiran

Minuman beroksigen memiliki kadar oksigen 7 sampai 10 kali dibandingkan air minum biasa. Manfaat dari pemberian minuman beroksigen adalah meningkatkan oksigen di dalam pembuluh arteri, menurunkan ventilasi paru-paru, menurunkan denyut jantung, menurunkan kadar laktat dalam darah, dan meningkatkan konsumsi oksigen maksimal ($VO_{2 \text{ maks}}$). Oksigen yang terkandung di dalam air ini juga akan meningkatkan penyerapan oksigen oleh tubuh.⁹

Oksigen yang masuk melalui saluran pencernaan akan diserap ke dalam pembuluh darah dan akan bersatu dengan oksigen yang berasal dari saluran pernafasan. Oksigen yang berasal dari paru-paru akan masuk ke dalam pembuluh

darah melalui alveoli yang dipengaruhi oleh tekanan parsial. Tekanan parsial oksigen di alveoli sebesar 105 mmHg dan tekanan parsial oksigen di kapiler alveoli sebesar 100 mmHg, sehingga memungkinkan oksigen untuk berpindah ke dalam kapiler alveoli. Oksigen yang masuk ke dalam pembuluh darah akan berikatan dengan plasma darah dan juga hemoglobin, dimana sebesar 1.5% akan berikatan dengan plasma darah dan 98.5% akan berikatan dengan hemoglobin.²⁰

Oksigen yang berasal dari saluran pencernaan dan saluran pernafasan akan meningkatkan tekanan parsial oksigen di dalam pembuluh darah. Hal ini akan mengakibatkan adanya peningkatan oksigen yang masuk ke dalam jaringan tubuh.²³ Sehingga terjadi peningkatan asupan oksigen ke dalam jaringan atau disebut VO_2 maks.¹⁷

Minuman berkarbonasi berasal dari karbon dioksida yang ditambahkan pada minuman biasanya 3-4 kali volume cairannya. Konsumsi minuman berkarbonasi dapat menurunkan pH dan peningkatan PCO_2 pada darah arteri. Berdasarkan literatur, minuman berkarbonasi memiliki efek dapat meningkatkan VO_2 maks pada orang yang sedikit bekerja (pasif). Hal ini merupakan fakta yang sangat menakjubkan berdasarkan persentase populasi yang mengkonsumsi minuman berkarbonasi setiap hari.¹¹

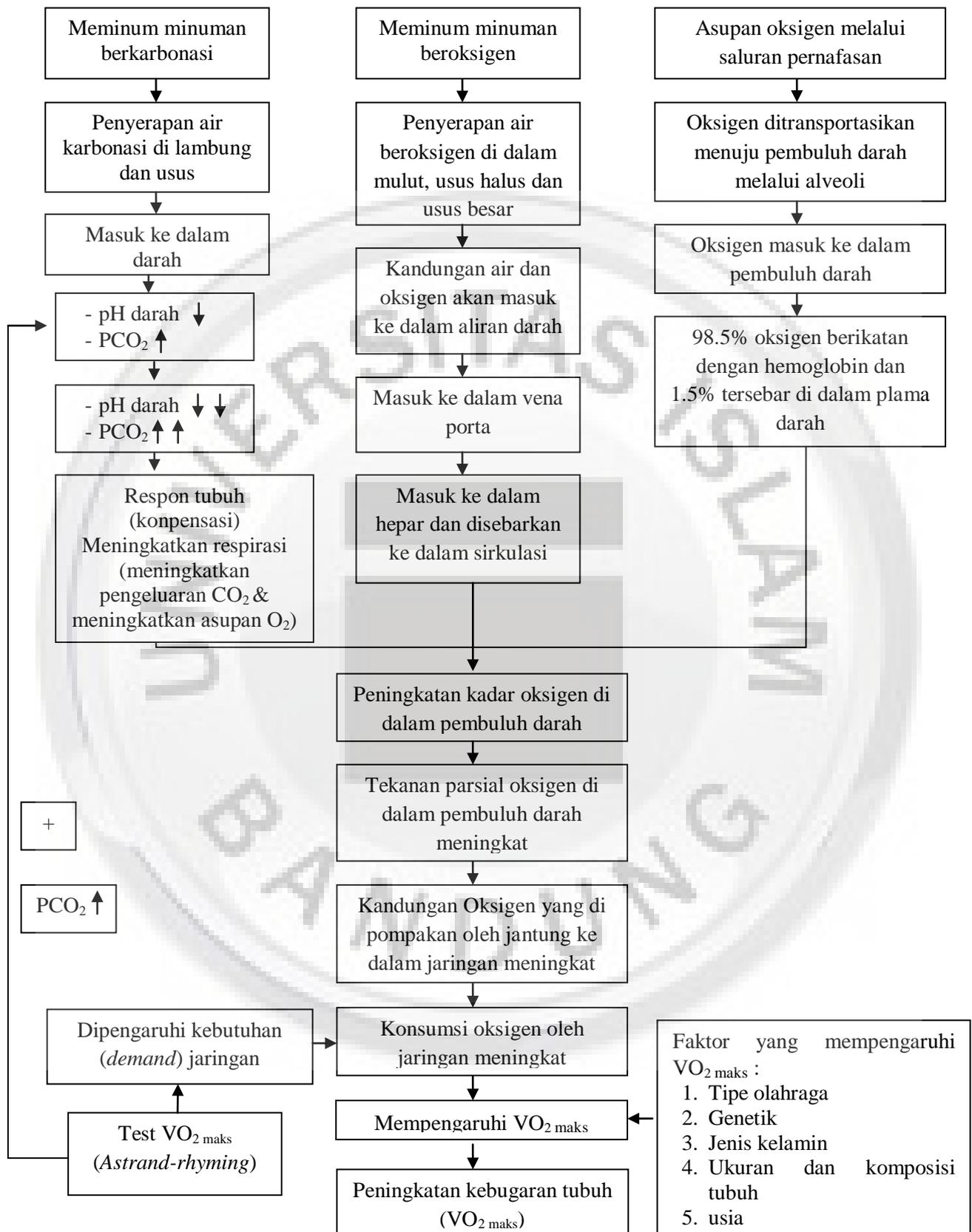
Minuman berkarbonasi akan masuk ke dalam kerongkongan, lambung dan duodenum, semua akan tergantung pada aktivitas lambung pada saat menelan. Jika cairan berkarbonasi masuk saluran pencernaan, CO_2 yang terlarut dilepaskan ke dalam bentuk gas yang memicu mekanisme regurgitasi berupa bersendawa, selain itu diserap melalui membran duodenum kemudian masuk ke dalam aliran darah, dan sisanya ada yang menjadi flatus (7,5 persen CO_2). Tingkat penyerapan

setiap gas dalam usus tergantung pada gradien tekanan parsial yang ada antara duodenum dan pembuluh darah vena. Tingkat difusi CO_2 melalui membran lambung ke dalam darah mencapai keseimbangan sekitar 80-90 menit. Jadi, CO_2 mudah melewati lambung dan membran usus, kemudian dengan cepat menyeimbangkan dengan pembuluh darah vena.¹¹

Karbon dioksida yang masuk melalui saluran pencernaan akan diserap ke dalam pembuluh darah dan akan bersatu dengan karbon dioksida yang berasal dari sisa metabolisme sel. Karbon dioksida di dalam darah meningkat, akibatnya menurunkan pH dan peningkatan PCO_2 pada darah arteri. Penurunan pH darah akan terdeteksi oleh sistem asam basa tubuh yang selanjutnya akan memberikan kompensasi baik dari sistem *buffer*, sistem respirasi dan ginjal. Sistem respirasi akan memberikan kompensasi berupa meningkatkan pengeluaran CO_2 & meningkatkan asupan O_2 .²⁶ Asupan oksigen meningkat akan meningkatkan tekanan parsial oksigen di dalam pembuluh darah. Hal ini akan mengakibatkan adanya peningkatan oksigen yang masuk ke dalam jaringan tubuh.^{11,21,26}

Peningkatan asupan oksigen ke dalam jaringan atau disebut VO_2 maks dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tipe olahraga, *hereditary*, jenis kelamin, ukuran dan komposisi tubuh dan faktor usia. Adanya faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan atau bahkan menurunkan asupan oksigen ke dalam jaringan. Faktor-faktor tersebut melibatkan massa otot, kadar hemoglobin dan kadar lemak pada seseorang, sehingga dengan adanya perbedaan dari hal tersebut akan mempengaruhi pula asupan oksigen ke dalam jaringan.¹⁷

Berikut kerangka pemikiran yang sesuai dengan penjelasan di atas :



Gambar 2.7. Kerangka pemikiran