

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Kebugaran Jasmani

Kebugaran jasmani adalah kemampuan seseorang untuk menunaikan tugasnya sehari-hari dengan mudah, tanpa merasa lelah yang berlebihan, serta masih mempunyai sisa atau cadangan tenaga untuk menikmati waktu senggangnya dan untuk keperluan-keperluan mendadak. Hal ini menunjukkan bahwa seorang dapat dikatakan memiliki kondisi bugar apabila seseorang tersebut mampu melakukan kegiatan fisik tanpa merasakan kelelahan.¹²

Komponen yang berperan dalam menentukan tingkat kebugaran jasmani meliputi daya tahan kardiorespirasi, kekuatan otot, tenaga ledak otot, kecepatan, dan koordinasi.¹³ Daya tahan kardiorespirasi atau yang sering disebut juga sebagai daya tahan jantung paru merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan kebugaran jasmani.⁴

Daya tahan kardiorespirasi adalah kemampuan dari jantung, paru dan pembuluh darah untuk bekerja secara optimal mendistribusikan oksigen ke seluruh jaringan yang nantinya akan digunakan sebagai bahan metabolisme. $\dot{V}O_2$ maks atau jumlah oksigen maksimum yang dikonsumsi secara maksimal dinyatakan dalam satuan ml/kg/BB/menit.¹³

2.1.2 Oxygen Consumption

Konsumsi oksigen adalah jumlah pemakaian oksigen pada fase metabolisme yaitu suatu proses mengubah asam laktat menjadi glikogen kembali dengan adanya oksigen dari pernapasan, sehingga memungkinkan otot-otot bisa bergerak secara kontinyu sehingga keseimbangan kerja dapat dicapai dengan baik.¹⁶

Konsumsi oksigen adalah proses metabolisme yang berhubungan erat dengan konsumsi energi. Konsumsi oksigen akan tetap diperlukan walau sedang tidak bekerja/istirahat.^{16,19}

Besarnya pengeluaran energi sebagai akibat kerja fisik sangat berkaitan dengan konsumsi energi. Satuan pengukuran konsumsi energi adalah kilokalori (kcal). 1 kcal sama dengan jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 liter air dari 14,5°C menjadi 15,5°C. Energi yang dikonsumsi seringkali bisa diukur secara langsung yaitu melalui konsumsi oksigen (O₂) yang dihisap. Volume oksigen yang dibutuhkan saat bekerja dapat dipakai sebagai dasar menentukan jumlah kalori yang diperlukan selama kerja, 1 liter oksigen sama dengan 4,7–5 Kkal. Pendapat lain mengatakan, 1 liter oksigen dikonsumsi oleh tubuh, maka tubuh akan mendapatkan 4,8 Kkal energi yang merupakan nilai kalori suatu oksigen. Volume oksigen yang digunakan tersebut dihitung dengan cara mengukur volume udara ekspirasi dan kemudian kadar oksigennya ditentukan dengan teknik sampling. Dengan mengetahui temperatur dan tekanan udaranya, maka volume oksigen yang digunakan dapat dihitung.^{16,19}

2.1.3 $\dot{V}O_2$ maks

Seseorang dapat dikatakan memiliki kebugaran jasmani yang baik apabila orang tersebut mempunyai kekuatan (*strength*), kemampuan (*ability*), kesanggupan dan daya tahan untuk melakukan pekerjaan dengan efisien tanpa timbul kelelahan yang berarti. Yakni sehabis bekerja atau melakukan aktivitas seseorang tersebut masih mempunyai cukup energi untuk menikmati waktu luangnya dengan baik.¹⁴

2.1.3.1 Definisi $\dot{V}O_2$ maks

$\dot{V}O_2$ maks adalah kecepatan pemakaian oksigen dalam metabolisme aerob maksimum.⁷ $\dot{V}O_2$ maks merupakan daya tangkap aerobik maksimal menggambarkan jumlah oksigen maksimum yang dikonsumsi per satuan waktu oleh seseorang selama latihan atau tes, dengan latihan yang makin lama makin berat sampai kelelahan, ukurannya disebut $\dot{V}O_2$ maks.¹⁵

$\dot{V}O_2$ maks ini adalah suatu tingkatan kemampuan tubuh yang dinyatakan dalam liter per menit atau milliliter/menit/kg berat badan. Setiap sel dalam tubuh manusia membutuhkan oksigen untuk mengubah makanan menjadi ATP yang siap dipakai untuk kerja tiap sel yang paling sedikit mengkonsumsi oksigen adalah otot dalam keadaan istirahat. Sel otot yang berkontraksi membutuhkan banyak ATP. Akibatnya otot yang dipakai dalam latihan membutuhkan lebih banyak oksigen dan menghasilkan CO_2 .¹⁶

2.1.3.2 Jenis VO_2 maks

Nilai VO_2 maks dibagi menjadi dua yaitu nilai VO_2 absolut dan nilai $\dot{V}O_2$ relatif. Nilai VO_2 absolut adalah jumlah oksigen maksimal yang digunakan oleh

tubuh yang dinyatakan dalam l/menit. Sedangkan nilai $\dot{V}O_2$ relatif adalah jumlah oksigen maksimal yang digunakan oleh tubuh per kilogram berat badan yang dinyatakan dalam ml/kg/menit.¹⁶

2.1.3.3 Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi $\dot{V}O_2$ maks

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai $\dot{V}O_2$ 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 $\dot{V}O_2$ maks. Nilai $\dot{V}O_2$ maks anak laki-laki usia 10 tahun akan lebih tinggi dibanding anak perempuan seusianya. Pada usia 16 tahun nilai $\dot{V}O_2$ maks pada anak laki-laki akan meningkat menjadi 37% dibanding anak perempuan.¹⁷

2) Usia

Anak laki-laki mulai usia 10 tahun mempunyai nilai $\dot{V}O_2$ maks lebih tinggi dibanding dengan anak perempuan pada usia yang sama. Puncak nilai $\dot{V}O_2$ maks dicapai pada usia 18 sampai 20 tahun untuk kedua jenis kelamin. Saat memasuki usia pertengahan, nilai $\dot{V}O_2$ maks akan mengalami penurunan, yakni menurun kurang lebih 10% per dekade.¹⁷

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 milimeter dengan mengukur pada tiga bagian di sebelah kanan tubuh yaitu abdomen, dada dan paha pada pria sedangkan perempuan pada paha, *triceps* dan *suprailiac*. Hormon estrogen pada perempuan dapat meningkatkan penimbunan lemak terutama pada payudara, paha dan jaringan subkutan.¹⁸

4) Latihan

Konsumsi oksigen normal pada pria dewasa muda sewaktu istirahat adalah sekitar 250 ml/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 $\dot{V}O_2$ maks sekitar 10%.^{8,18}

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 $\dot{V}O_2$ maks sekitar 10% sampai 30% pada orang yang melakukan latihan sama tetapi berasal dari ras yang berbeda.²¹

6) Ketinggian tempat

Ketinggian suatu tempat berbanding terbalik dengan kadar oksigen di udara. Kadar oksigen yang rendah akan menurunkan nilai konsumsi oksigen ($\dot{V}O_2$ maks).

Kadar oksigen yang rendah juga akan menyebabkan kerja paru-paru dalam pengambilan oksigen meningkat sehingga frekuensi nafas juga meningkat.²²

2.1.3.4 Pengukuran $\dot{V}O_2$ maks

Untuk mengukur nilai $\dot{V}O_2$ maks dapat dilakukan pengukuran langsung ataupun tidak langsung.

2.1.3.4.1 Metode langsung

Metode langsung dilakukan dengan mengukur kapasitas aerobik atau $\dot{V}O_{2max}$ secara langsung. Metode langsung dilakukan di laboratorium dengan menggunakan spirometer yang terkomputasi sehingga dinilai memiliki hasil yang paling objektif. Metode tes pengukuran di laboratorium yang paling umum digunakan untuk mengukur $\dot{V}O_{2max}$ adalah dengan cara memberikan beban kerja menggunakan sepeda statik ergometer atau *treadmill*, dan secara progresif beban kerja tersebut dinaikan hingga terjadi kelelahan. Seseorang yang akan diukur $\dot{V}O_2$ maksnya akan dihubungkan dengan spirometer yaitu sebuah alat yang mengalirkan oksigen dan menampung karbondioksida (hasil pembuangan napas). Selama diberikan beban kerja konsumsi oksigen diukur secara terus menerus hingga tercapai nilai maksimalnya. Alat tersebut secara otomatis akan mencatat berapa besar volume oksigen yang terpakai pada saat melakukan aktivitas aerobik. Metode ini dianggap lebih akurat, tetapi membutuhkan peralatan laboratorium yang mutakhir dan tenaga fisiologis khusus.

2.1.3.4.2 Metode Tidak Langsung

Pada metode ini, $\dot{V}O_{2max}$ tidak diukur secara langsung, tetapi diprediksi dengan menggunakan parameter lain (misalnya denyut nadi, jarak tempuh, waktu

tempuh, dll), kemudian dikonversikan menjadi perkiraan VO_{2max} . 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 mengayuh 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, subjek juga diawasi tekanan darahnya pada saat permulaan dan akhir tes. Kriteria subjek untuk melakukan tes ini adalah sehat dan sudah makan minimal dua jam sebelum melakukan tes.^{8,21}

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.^{8,21}

3) *Field test*

Tes ini sangat mudah untuk dilakukan karena tidak memerlukan alat khusus dalam pelaksanaannya. Subjek diminta berlari berdasarkan jarak atau waktu tertentu. Beberapa variasi dari tes ini adalah:

(1) *12 minute run.*

Tes lari 12 menit atau Tes Cooper 12 menit merupakan tes lari yang dilakukan selama 12 menit, dimana dalam tes ini subjek diminta berlari selama 12 menit dengan posisi awalan berdiri dan dimulai apabila terdapat aba-aba “Ya” lalu dihitung dengan menggunakan *stopwatch*. Apabila subjek berhenti sebelum 12 menit maka tes ini dianggap gagal.^{8,21}

(2) *1,5 mile run.*

Tes ini dilakukan dengan cara meminta subjek berlari dengan jarak 1,5 mil dan waktunya akan dihitung menggunakan *stopwatch*.^{8,21}

(3) *2,4 km run test.*

Tes lari 2.4 Km dirancang oleh Cooper. Tes ini adalah salah satu bentuk tes lapangan untuk mengukur tingkat kebugaran jasmani seseorang. Peserta tes diminta berlari dengan kecepatan maksimal untuk menempuh jarak 2,4 Km. Diusahakan lintasan berstruktur datar tidak bergelombang, tidak licin, dan tidak terlalu banyak belokan tajam. Bila sudah mencapai garis finish maka waktu tempuh lari dicatat dalam satuan menit dan ditulis dengan dua angka dibelakang koma. Waktu yang dicatat digunakan untuk menilai tingkat kebugaran dengan cara mengkonfirmasi dengan table kebugaran jasmani Cooper.^{8,21}

4) *Step test*

Kunci dari tes ini adalah jumlah langkah per menit dan tinggi bangku yang digunakan untuk menghasilkan beban kerja. Subjek 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

$\dot{V}O_2$ maks dapat ditentukan berdasarkan denyut nadi dan berat badan subjek. Beberapa variasi tersebut misalnya: (1) *Harvard Step Test*, (2) *Queen's College Step Test*, (3) *Tuttle Step Test*, (4) *Ohio StepTest*, (5) *YMCA Step test*, dan (6) *Astrand-Rhyming Step Test*.

Harvard step test merupakan tes pengukuran kemampuan aerobik paling tua yang dibuat oleh Brouha tahun 1943. Tes ini menggunakan bangku setinggi 50 inci dan dilakukan selama 5 menit.^{8,21}

Pada tahun 1960 *Harvard Step Test* dikembangkan menjadi suatu *stepping test* yang dinamakan dengan *Astrand-Rhyming Step Test*. *Harvard step test* membutuhkan pengukuran jantung olahraga dan memungkinkan estimasi kapasitas aerobik, berbeda dengan *Astrand-Rhyming Step Test* pengukuran tersebut dihilangkan untuk meningkatkan kepraktisannya. *Astrand-Rhyming Step Test* mengharuskan subjek untuk naik turun bangku selama 5 menit, dengan laju 22,5 langkah/individu/menit. Ketinggian anak tangga ditetapkan 40 cm untuk pria dan 30 cm untuk wanita. Dilakukan latihan selama 15 detik sebelum *stepping test* dimulai. *Astrand-Rhyming Step Test* melaporkan kesalahan standar pengukuran yang sangat rendah sehingga *Astrand-Rhyming Step Test* ini merupakan metode yang tepat untuk melakukan pengukuran $\dot{V}O_2$ maks.³⁰

Cara menghitung $\dot{V}O_2$ maks²²:

$$\dot{V}O_2 \text{ maks} = 15 \times (HR \text{ max} \div HR \text{ rest})$$

2.1.3.5 Nilai normal $\dot{V}O_2$ maks

Tabel 2.1 Nilai normal $\dot{V}O_2$ maks

Tabel 2.1.1 Nilai normal $\dot{V}O_2$ maks pada laki-laki

Age	Poor	Fair	Good	Excellent	Superior
20 – 29	<42	42 – 45	46 – 50	51 – 55	>55
30 – 39	<41	41 – 43	44 – 47	48 – 53	>53
40 – 49	<38	38 – 41	42 – 45	46 – 52	>52
50 – 59	<35	35 – 37	38 – 42	43 – 49	>49
60 – 69	<31	31 – 34	35 – 38	39 – 45	>45
70 – 79	<28	28 – 30	31 – 35	36 – 41	>41

Keterangan : Normative data for Male (values in ml/kg/min)

Dikutip dari : Heywood, V. The Physical Fitness Specialist Manual, The Cooper Institute for Aerobics Research, Dallas TX, revised 2005. In: HEYWOOD, V (2006) *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*, Fifth Edition, Champaign, IL: Human Kinetics. 2006

Tabel 2.1.2 Nilai normal $\dot{V}O_2$ maks pada perempuan

Age	Poor	Fair	Good	Excellent	Superior
20 – 29	<36	36 – 39	40 – 43	44 – 49	>49
30 – 39	<34	34 – 36	37 – 40	41 – 45	>45
40 – 49	<32	32 – 34	35 – 38	39 – 44	>44
50 – 59	<25	25 – 28	29 – 30	31 – 34	>34
60 – 69	<26	26 – 28	29 – 31	32 – 35	>35
70 – 79	<24	24 – 26	27 – 29	30 – 35	>35

Keterangan : Normative data for Female (values in ml/kg/min)

Sumber : Heywood, V. The Physical Fitness Specialist Manual, The Cooper Institute for Aerobics Research, Dallas TX, revised 2005. In: HEYWOOD, V (2006) *Advanced Fitness. Assessment and Exercise Prescription*, Fifth Edition, Champaign, IL: Human Kinetics. 2006

2.1.4 Oksigen Delivery (DO₂)

Oxygen delivery (DO₂) merupakan total oksigen yang dialirkan melalui darah menuju ke jaringan dalam setiap menit. Kadar *oxygen delivery* bergantung terhadap cardiac output (CO) yang merupakan hasil *stroke volume* dikalikan dengan *heart rate* dan jumlah oksigen yang terdapat pada pembuluh darah arteri (CaO₂). CaO₂ memiliki dua komponen yaitu konsentrasi oksigen yang berikatan dalam serum (2-3%) atau PaO₂ dan oksigen yang berikatan dengan hemoglobin (97-98%)

atau SaO₂ (saturasi oksigen pada pembuluh darah arteri). Dari definisi ini dapat dijabarkan sebuah rumus:³⁷

$$DO_2 = CO \times (Hb \times 1,34 \times SaO_2) + (PaO_2 \times 0,0031)$$

Nilai normal untuk *oxygen delivery* (DO₂) adalah 1000 ml O₂/menit.³⁷

Oleh karena itu, pengiriman oksigen dapat dipengaruhi oleh perubahan *cardiac output* (CO), tingkat saturasi oksigen dengan hemoglobin, jumlah hemoglobin yang tersedia, dan PaO₂ (jumlah oksigen terlarut dalam darah). Cardiac output didapatkan dari besarnya *stroke volume* dikalikan dengan *heart rate*. Besarnya *stroke volume* rata-rata orang dewasa dalam posisi supine adalah 70 mL. Ketika hemoglobin tersaturasi penuh dengan oksigen (dapat dilihat dari nilai SaO₂nya adalah 1,0 atau 100%), maka peningkatan PaO₂ tidak memiliki pengaruh yang penting terhadap CaO₂ dan *oxygen delivery*.³⁹

Pengiriman oksigen dalam tubuh manusia meliputi sistem paru dan kardiovaskuler, yang dipengaruhi oleh:

- 1) Jumlah O₂ yang memasuki paru-paru.
- 2) Kecukupan pertukaran gas di paru-paru.
- 3) Aliran darah ke jaringan: yang bergantung pada kemampuan konstiksi pembuluh darah di jaringan, dan *cardiac output* yang didapatkan dari besarnya *stroke volume* dikalikan dengan *heart rate*.
- 4) Kapasitas darah untuk membawa O₂: bergantung pada jumlah O₂ yang terlarut, jumlah Hb dalam darah, dan afinitas Hb untuk mengikat O₂.

Hemoglobin pada manusia terdiri dari 2 rantai Alpha dan 2 rantai non-Alpha. Pada orang dewasa HbA terdiri dari 2 rantai Alpha dan 2 Beta (97,5% dari total Hb). 2,5% lainnya adalah jenis Hb lain yaitu HbA₂, terdiri dari 2 rantai Alpha dan

Delta. Berbeda pada janin, janin memiliki HbF yang terdiri dari 2 rantai Alpha dan 2 Gamma (80% dari total Hb). Hemoglobin adalah protein yang terdiri dari 4 subunit yang masing-masing mengandung gugus heme yang melekat pada rantai polipeptida, heme merupakan kompleks yang terbuat dari porfirin dan satu atom besi, masing-masing atom besi dapat mengikat satu molekul O₂. Iron (Fe) tetap dalam kondisi besi sehingga itulah sebabnya mengapa reaksi tersebut disebut sebagai oksigenasi bukan oksidasi. Kombinasi heme pertama dalam Hb menyebabkan peningkatan afinitas yang kedua, oksigenasi yang kedua akan meningkatkan afinitas ke yang ketiga, dan oksigenasi yang ketiga akan meningkatkan afinitas ke yang keempat. Reaksi ini berlangsung sangat singkat yaitu hanya membutuhkan waktu 0,01 detik dan proses deoksigenasinya juga sangat singkat. Struktur kuaterner dari Hb menentukan afinitas untuk mengikat oksigen.

Pada deoksi-hemoglobin, unit hemoglobin terikat erat dalam konfigurasi *t* (T), yang mengurangi afinitas hemoglobin untuk mengikat oksigen, ketika oksigen pertama terikat, ikatan yang memegang unit globulin dilepaskan dan akan menghasilkan konfigurasi *relaxed* (R) yang menyebabkan lebih banyak oksigen *binding sites* yang terekspos sehingga hemoglobin dapat kembali berikatan dengan oksigen. Reaksi ini terjadi sekitar 100.000.000 kali dalam siklus RBC.³⁶

2.1.4.1 Mekanisme Transpor Oksigen

Manusia membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup. Oksigen yang dihirup dari atmosfer nantinya akan dikirimkan ke sel dan digunakan untuk proses metabolisme. Beberapa sel dapat menghasilkan energi tanpa oksigen (metabolisme anaerob) untuk waktu yang singkat, meskipun tidak efisien. Namun terdapat sel yang hanya dapat menghasilkan energi apabila terdapat suplai oksigen

(metabolisme aerob). Udara disekitar kita mempunyai tekanan total 760 mm Hg. Udara terdiri dari 21% oksigen, 78% nitrogen, dan sedikit CO₂, argon dan helium.

Tekanan oksigen dalam udara kering diatas permukaan laut adalah 159 mm Hg. Saat udara dihirup dan melewati trakhea, udara telah dihangatkan dan dilembabkan oleh saluran nafas bagian atas. Kelembaban didapat dari uap air dengan menggunakan tekanan. Tekanan oksigen saat mencapai alveoli sekitar 100 mm Hg. Darah dari jaringan yang menuju ke jantung dengan tekanan oksigen yang rendah (40 mm Hg), dan menuju ke paru-paru melalui arteri pulmonalis. Oksigen berdifusi (berpindah melalui membran yang memisahkan udara dengan darah) dari tekanan tinggi di dalam alveoli (104 mm Hg) ke dalam darah yang mempunyai tekanan yang lebih rendah di dalam kapiler pulmonal (40 mm Hg). Darah yang telah teroksigenasi berpindah ke vena pulmonal dan menuju ke jantung kiri untuk dipompa ke seluruh tubuh. Pada paru-paru yang normal, tekanan oksigen dalam darah di vena pulmonal sama dengan tekanan oksigen dalam alveolus. Oksigen dibawa dalam darah dalam dua bentuk. Sebagian besar berikatan dengan hemoglobin tetapi ada juga yang terlarut dalam plasma dalam jumlah yang sangat sedikit. Setiap gram hemoglobin dapat membawa 1,39 ml oksigen bila oksigen tersaturasi sepenuhnya. Oleh karena itu setiap liter darah dengan konsentrasi Hb 15 g/dl dapat mengangkut sekitar 200 ml oksigen ketika penuh jenuh dengan oksigen (PO₂ > 100 mm Hg), dan hanya 3 ml oksigen yang larut dalam setiap liter plasma.⁴⁰

2.1.4.2 Pertukaran Gas

Pertukaran gas di tingkat kapiler paru dan kapiler jaringan berlangsung secara difusi pasif sederhana O₂ dan CO₂ menuruni gradien tekanan parsial. Peristiwa difusi merupakan peristiwa pasif yang tidak memerlukan energi ekstra. Tidak terdapat mekanisme transport aktif dalam pertukaran gas-gas ini. Suatu tekanan yang ditimbulkan secara independen atau tersendiri oleh masing-masing gas dalam suatu campuran gas disebut tekanan parsial gas.⁴¹

2.1.4.3 Difusi

Difusi dalam respirasi merupakan proses pertukaran gas antara alveoli dengan darah pada kapiler paru. Proses difusi terjadi karena perbedaan tekanan, gas berdifusi dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Salah satu ukuran difusi adalah tekanan parsial.

Difusi terjadi melalui membran respirasi yang merupakan dinding alveolus yang sangat tipis dengan ketebalan rata-rata 0,5 mikron. Di dalam paru-paru terdapat sekitar 300 juta alveoli dan bila dibentangkan dindingnya maka luasnya mencapai 70 m² pada orang dewasa normal. Saat difusi terjadi pertukaran gas antara oksigen dan karbondioksida secara simultan. Saat inspirasi maka oksigen akan masuk ke dalam kapiler paru dan saat ekspirasi karbondioksida akan dilepaskan kapiler paru ke alveoli untuk dibuang ke atmosfer. Proses pertukaran gas tersebut terjadi karena perbedaan tekanan parsial oksigen dan karbondioksida antara alveoli dan kapiler paru. Volume gas yang berdifusi melalui membran respirasi per menit untuk setiap perbedaan tekanan sebesar 1 mmHg disebut dengan kapasitas difusi.

Kapasitas difusi oksigen dalam keadaan istirahat sekitar 230 ml/menit. Saat aktivitas meningkat maka kapasitas difusi ini juga meningkat karena jumlah kapiler

aktif meningkat disertai dilatasi kapiler yang menyebabkan luas permukaan membran difusi meningkat. Kapasitas difusi karbondioksida saat istirahat adalah 400-450 ml/menit. Saat bekerja meningkat menjadi 1200-1500 ml/menit.^{18,40}

Saat gas yang di bawa oleh darah dalam pembuluh darah sebagai hasil ekspirasi dapat terlihat bahwa PO_2 sebelum masuk ke dalam sel nilainya 96 mmHg yang sebelumnya turun dari 100 mmHg, ini diakibatkan oleh proses fisiologi dari transportasi gas itu sendiri. Saat masuk kedalam sel, cairan ekstraselulernya mempunyai PO_2 sebesar 45 mmHg. Inilah yang menyebabkan O_2 bisa masuk kedalam sel untuk dilakukan metabolisme. Perlu diingat bahwa dalam proses metabolisme ini sel menggunakan oksigen sebagai media dalam proses pembakaran molekulnya agar menjadi sederhana, dengan produk akhir berupa CO_2 , H_2O , dan ATP yang digunakan sebagai sumber energi didalam tubuh manusia. Kemudian PO_2 yang keluar berubah menurun menjadi 40 mmHg sebagai aspek fisiologi bahwa Oksigen sudah digunakan dalam proses metabolisme tersebut, maka dari itu kandungannya menurun. Sedangkan pada PCO_2 di arteri mulai 40 mmHg dan selesai metabolisme PCO_2 naik menjadi 45 mmHg. Ini terbukti bahwa hasil dari metabolisme menghasilkan lebih banyak (5 mmHg) CO_2 dari pada O_2 .^{18,40}

2.1.4.4 Gradien PO_2 dan PCO_2 Menembus Kapiler Paru

Ventilasi secara terus-menerus mengganti O_2 alveolus dan mengeluarkan CO_2 sehingga gradien parsial antara darah dan alveolus dipertahankan. Darah yang masuk ke kapiler paru berasal dari vena sistemik yang relatif kekurangan O_2 (PO_2 40mmHg) dan relatif kaya CO_2 (PCO_2 46mmHg). Karena PO_2 di alveolus lebih tinggi dibandingkan PO_2 di kapiler paru yaitu 100 mmHg, maka O_2 berdifusi menuruni gradien memasuki kapiler paru hingga tidak ada lagi gradien tekanan

parsial. Sehingga sewaktu meninggalkan kapiler kembali ke sirkulasi, darah memiliki PO_2 sama dengan alveolus yaitu 100 mmHg. Gradien PCO_2 memiliki arah yang berlawanan, yaitu darah yang memasuki kapiler paru memiliki PCO_2 lebih tinggi (46 mmHg) dibandingkan PCO_2 di alveolus (40 mmHg), sehingga terjadi difusi CO_2 dari darah ke dalam alveolus sampai tidak ada lagi gradien tekanan parsial. Setelah meninggalkan kapiler kembali ke sirkulasi, darah memiliki PCO_2 sebesar 40 mmHg. Secara sistemik dapat dikatakan bahwa pada darah arteri terdapat PO_2 sebesar 100 mmHg dan PCO_2 sebesar 40 mmHg, sedangkan pada vena terdapat PO_2 sebesar 40 mmHg dan PCO_2 sebesar 46 mmHg. Proses difusi melewati membran pembatas alveoli dengan kapiler pembuluh darah meliputi proses difusi gas dan proses difusi cairan. Udara atau gas yang baru masuk dengan cepat berdifusi atau bercampur dengan gas yang telah ada dalam alveoli. Kecepatan gas berdifusi berbanding terbalik dengan berat molekulnya. O_2 mempunyai berat molekul 32 sedangkan berat molekul CO_2 adalah 44. Gerak molekul gas O_2 lebih cepat dibandingkan gerak molekul gas CO_2 sehingga kecepatan difusi O_2 juga lebih cepat. Sedangkan kecepatan difusi gas pada fase cairan tergantung kelarutan gas dalam cairan. Kelarutan CO_2 lebih besar dibandingkan O_2 sehingga kecepatan difusi CO_2 didalam fase cairan 20 kali lipat kecepatan difusi O_2 . Semakin besar membran pembatas, halangan bagi proses difusi semakin besar. Dalam hal ini pembatas-pembatasnya adalah dinding alveoli, dinding kapiler endotel, lapisan plasma kapiler dan dinding eritrosit.¹⁸

2.1.4.5 Faktor yang mempengaruhi proses transport oksigen

Difusi O_2 dan CO_2 antara alveolus dan darah seolah-olah hanya gradien tekanan parsial gas yang menentukan kecepatan difusi mereka. Menurut hukum

difusi Fick, kecepatan difusi suatu gas melalui suatu lembaran jaringan juga bergantung ada luas permukaan dan ketebalan membran yang harus dilewati oleh gas yang berdifusi serta konstanta difusi gas tersebut. Perubahan pada kecepatan pertukaran gas dalam keadaan normal ditentukan terutama oleh perubahan gradien tekanan parsial antara darah dan alveolus karena faktor-faktor lain relatif konstan dalam keadaan istirahat. Namun, pada keadaan ketika faktor-faktor lain ini mengalami perubahan, perubahan tersebut mengubah kecepatan transfer gas di paru.⁴²

2.1.5 Hipoksia

Hipoksia merupakan keadaan gagalannya jaringan mendapatkan suplai oksigen dengan baik.³⁹ Hipoksia diklasifikasikan menjadi lima berdasarkan penyebabnya, yaitu:

1. Hipoksia Hipoksik

Pada hipoksia hipoksik, kadar oksigen di dalam darah arteri sangat rendah, dan hemoglobin tidak tersaturasi dengan oksigen seperti yang seharusnya. Hipoksia tipe ini akan mempengaruhi seluruh tubuh dan merupakan hipoksia paling serius.

Hipoksik hipoksia biasanya disebabkan oleh rendahnya tekanan oksigen saat inspirasi seperti pada tempat yang tinggi, menghirup gas inert (campuran bermacam-macam gas untuk mempertahankan kadar oksigen dalam persentase rendah, sehingga dapat mencegah terjadinya ledakan atau kebakaran), menghirup agen anastesi. Kondisi paru-paru yang abnormal juga dapat menyebabkan terjadinya hipoksia hipoksik, seperti emphysema, asthma, pneumonia, atau pneumothorax. Obstruksi mekanik saluran pernapasan yang disebabkan karena benda asing, laringospasme, atau bronkospasme dapat menghambat aliran oksigen

dari atmosfer menuju paru, sehingga menyebabkan keadaan kurangnya oksigen. Tipe pernapasan dangkal dengan penurunan kecepatan atau amplitudo juga dapat menyebabkan hipoksia hipoksik. Keadaan hipoksia kronis dapat disebabkan oleh *patent foramen ovale* dan malformasi embriologi lain dari jantung ataupun pembuluh darah.³⁹

2. Hipoksia Anemik

Pada hipoksia anemik, kadar oksigen dalam darah arteri normal, namun terdapat penurunan fungsi dari hemoglobin. Hipoksia anemik tidak seserius hipoksia hipoksik, namun tetap mempengaruhi seluruh tubuh. Hipoksia anemik dapat disebabkan oleh pendarahan akut atau kronis, anemia primer atau sekunder, perubahan pada hemoglobin yang terdapat dalam darah, dan keracunan karbon monoksida.³⁹

3. Hipoksia Stagnan

Hipoksia stagnan disebabkan karena penurunan laju aliran sirkulasi darah. Biasanya melibatkan lokasi tertentu, namun dapat mempengaruhi seluruh tubuh. Pada kondisi hipoksia stagnan, darah tersaturasi dengan oksigen secara normal. Hipoksia tipe ini disebabkan karena jumlah oksigen yang mencapai jaringan tidak memadai. Lambatnya aliran darah dalam sirkulasi memungkinkan darah menjadi stagnan dan melepaskan sejumlah besar oksigen. Sirkulasi seperti ini juga dapat menyebabkan terjadinya akumulasi karbon dioksida pada jaringan. Hipoksia stagnan dapat disebabkan oleh kegagalan sirkulasi, ketidakmampuan *venous return*, dan syok.³⁹

4. Hipoksia Histotoksik

Seperti namanya, pada hipoksia histotoksik jaringan sel teracuni sehingga tidak dapat menerima oksigen dari kapiler. Pada tipe ini, sel tidak mampu untuk menggunakan oksigen meskipun jumlah oksigen yang tersedia normal. Hipoksia histotoksik dapat disebabkan karena sianida. Secara teori, hipoksia tipe ini dapat disebabkan oleh agen yang menekan respirasi seluler.³⁹

5. Hipoksia *Fulminant*

Hipoksia *fulminant* merupakan tipe hipoksia yang baru diketahui. Tipe ini merupakan hipoksia yang dapat terjadi sangat cepat apabila menghirup gas inert yang murni atau tidak dilarutkan seperti nitrogen, methanol, atau helium. Pada anestesi, hipoksia *fulminant* dapat disebabkan karena administrasi *nitrous oxide* tanpa penggunaan oksigen secara simultan.³⁹

2.1.6 Hemoglobin (Hb)

2.1.6.1 Definisi dan Struktur Hemoglobin

Hemoglobin merupakan suatu protein yang mengandung ferit atau zat besi (metaloprotein), yang terdapat di dalam sel darah merah. Suatu molekul hemoglobin mengandung empat gugus heme (suatu gugus organik yang memiliki sebuah atom ferit atau besi) sehingga mampu mengikat empat molekul oksigen. Hemoglobin tidak hanya mampu mengikat oksigen namun juga mampu mengikat karbondioksida dan karbonmonoksida.²³

Hb merupakan pigmen pembawa oksigen pada eritrosit, dibentuk oleh eritrosit yang sedang berkembang di sumsum tulang belakang. Hb berfungsi untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan perifer. Selain itu, Hb juga mengangkut CO₂ dari jaringan perifer menuju paru-paru untuk dikeluarkan.

Struktur heme pada Hb berfungsi sebagai pigmen warna pada eritrosit yang menyebabkan eritrosit menjadi berwarna merah.²³

Hemoglobin terdiri dari Heme dan Globin. Dalam tiap-tiap rantai globin terdapat heme group yang memuat 1 Fe (*iron*). Satu buah hemoglobin dapat mengangkut 4 buah oksigen karena dalam satu hemoglobin terdapat 4 Fe yang berada pada heme grup, berfungsi sebagai tempat pelekatan oksigen saat beredar dalam pembuluh darah.²⁴

2.1.6.2 Sintesis hemoglobin

Sel darah merah mengandung suatu biomolekul yang dapat mengikat oksigen yang disebut dengan hemoglobin. Hemoglobin memberi warna merah pada eritrosit. Pada manusia sel darah merah dibuat di *bone marrow*. Proses pembentukan sel darah merah disebut dengan eritropoesis. Sel unipotensial akan mulai berdiferensiasi apabila terdapat stimulasi dari eritropoetin. Eritropoetin juga merangsang mitosis lebih lanjut dari sel pronormoblas, normoblas basofilik dan normoblas polikromatofil.⁷

Terdapat dua proses yang berperan penting dalam pembentukan eritrosit, yaitu pembentukan deoxyribo nucleic acid (DNA) dalam inti sel dan pembentukan hemoglobin dalam plasma eritrosit. Hemoglobin merupakan unsur terpenting dalam plasma eritrosit. Molekul hemoglobin terdiri dari globin, portoporfirin, dan besi. Globin dibentuk di sekitar ribosom, portoporfirin dibentuk di sekitar mitokondria, sedangkan besi didapat dari transferrin.⁷

Tahap pembentukan hemoglobin dimulai dengan kondensasi glisin dan suksinil koenzim A di bawah aksi enzim kunci delta amino laevulinic acid (ALA). Akhirnya protopirin bergabung dengan besi untuk membentuk heme yang masing-

masing molekulnya bergabung dengan rantai globin yang terbuat pada poliribosom, kemudian tetramer 4 rantai globulin dengan masing-masing gugus hemnya sendiri terbentuk dalam molekul hemoglobin.^{7,24}

2.1.6.3 Tipe Hemoglobin

Terdapat 4 tipe hemoglobin yaitu rantai alfa, rantai beta, rantai gamma, dan rantai delta. Setiap tipe dibedakan karena terdapat variasi pada rantai hemoglobinnya, bergantung pada susunan asam amino di bagian polipeptida. Karena setiap rantai mempunyai sekelompok prostetik heme, maka terdapat empat atom besi dalam setiap molekul hemoglobin, masing-masing dapat berikatan dengan 1 molekul oksigen, total membentuk 4 molekul oksigen yang dapat diangkut oleh setiap molekul hemoglobin. Hemoglobin A mempunyai berat molekul 64.458.²⁴

2.1.6.4 Kurva Disosiasi Hemoglobin

Kurva disosiasi hemoglobin dan oksigen adalah gambaran hubungan antara kadar saturasi oksigen dengan tekanan parsial oksigen. Tekanan parsial oksigen merupakan faktor yang penting untuk menentukan seberapa banyak oksigen yang berikatan dengan hemoglobin. Maka semakin tinggi tekanan parsial oksigen, semakin banyak molekul oksigen yang berikatan dengan hemoglobin. Apabila terjadi pertukaran sepenuhnya dari hemoglobin tereduksi menjadi oxyhemoglobin, hemoglobin dikatakan tersaturasi penuh.³¹

Kadar saturasi hemoglobin adalah saturasi rata-rata hemoglobin yang berikatan dengan oksigen. Normalnya hemoglobin dapat mengikat 4 molekul

oksigen. Apabila hemoglobin hanya mengikat dua molekul oksigen maka kadar saturasinya hanya 50%.³¹

Pada kondisi normal, tekanan parsial oksigen dan saturasi hemoglobin di aliran darah arteri lebih besar dibandingkan dengan aliran darah vena. Tekanan parsial oksigen di arteri sebesar 95 mmHg sedangkan di vena hanya sebesar 40 mmHg. Untuk saturasi hemoglobin di arteri dapat melebihi 97% sedangkan di vena hanya 75-80%.³³

Selain tekanan parsial oksigen, terdapat faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kadar saturasi hemoglobin seperti keasaman (pH), tekanan parsial karbon dioksida dan zat *2,3-diphosphoglycerat* (2,3DPG). Faktor-faktor ini akan memberikan dampak terhadap kurva disosiasi hemoglobin-oksigen secara keseluruhan dengan menyebabkan kurva disosiasi bergeser ke kanan (afinitas berkurang) ataupun menyebabkan kurva disosiasi bergeser ke kiri (afinitas meningkat).³¹

Tingkat keasaman (pH) dapat menyebabkan pergeseran kurva hemoglobin ke kanan. Karena pada saat pH darah menurun, hemoglobin kurang tersaturasi walaupun berada di tekanan parsial oksigen tinggi. Perubahan ini disebut dengan Borh effect, dimana hemoglobin bertindak sebagai buffer. Borh effect akan bekerja melalui dua mekanisme yaitu; meningkatkan ion H⁺ dalam darah sehingga menyebabkan oksigen terlepas dari hemoglobin, dan oksigen yang berikatan dengan hemoglobin akan menyebabkan ion H⁺ terlepas dari hemoglobin. Apabila produksi asam metabolit meningkat, kurva disosiasi hemoglobin akan bergeser ke kanan, hal ini menandakan adanya afinitas hemoglobin terhadap oksigen melemah,

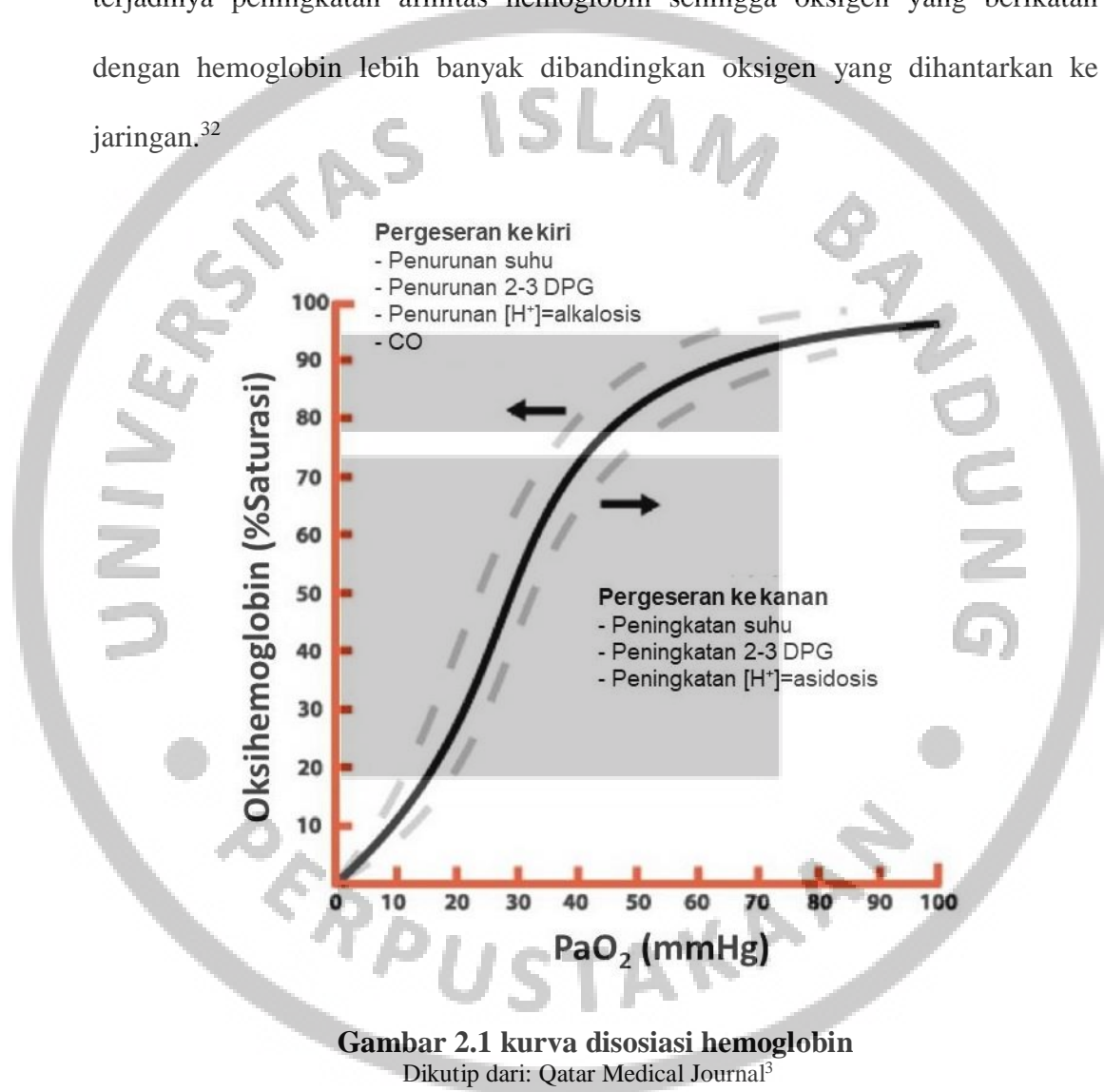
sehingga lebih banyak oksigen yang terlepas dibandingkan dengan oksigen yang berikatan dengan hemoglobin.³¹

Karbon dioksida memiliki sifat asam, sehingga bila berikatan dengan hemoglobin akan menyebabkan kurva disosiasi bergeser ke kanan. Pada kondisi seperti ini tekanan parsial karbon dioksida akan meningkat sehingga hemoglobin akan lebih mudah melepaskan oksigen. Tekanan parsial karbon dioksida dan pH darah merupakan faktor yang berkaitan dengan keasaman (pH rendah). Semakin rendah pH, maka semakin tinggi tekanan parsial karbon dioksida sehingga menyebabkan kurva disosiasi bergeser ke kanan.³¹

2,3-diphosphoglycerat (2,3-DPG) adalah komponen dalam darah yang berfungsi untuk menurunkan afinitas hemoglobin terhadap oksigen atau membantu melepaskan oksigen yang diikat oleh hemoglobin. 2,3-DPG disintesis di dalam eritrosit dan merupakan produk dari proses glikolisis yaitu pemecahan glukosa untuk menghasilkan *adenosine triphosphate* (ATP).³¹

Produksi 2,3-DPG akan meningkat pada keadaan hipoksia, gagal ginjal atau anemia yang menyebabkan adanya desaturasi hemoglobin. Peningkatan kadar 2,3-DPG berperan untuk mekanisme kompensasi saat terjadinya anemia kronis dan hipoksia. Selain itu peningkatan 2,3-DPG menyebabkan pergeseran kurva disosiasi ke kanan. Faktor yang dapat mempengaruhi metabolisme dari 2,3-DPG yaitu keseimbangan asam basa sistemik seperti keadaan asidosis atau alkalosis sistemik. Pada keadaan asidosis maka akan terjadi pergeseran kurva disosiasi ke kanan dan akan terjadi mekanisme perbaikan dalam 12-36 jam dengan cara menurunkan kadar 2,3-DPG. Maka *Bohr Effect* akan terjadi karena kadar 2,3-DPG yang rendah sehingga kurva disosiasi akan kembali normal.³³

Faktor terakhir yang dapat mempengaruhi kurva disosiasi hemoglobin adalah hipoksia. Hipoksia disebabkan karena adanya peningkatan saturasi karbon monoksida dalam darah. Keadaan ini menyebabkan terjadinya pergeseran kurva disosiasi ke kiri karena terbentuknya *carboxyhemoglobin* yang menyebabkan terjadinya peningkatan afinitas hemoglobin sehingga oksigen yang berikatan dengan hemoglobin lebih banyak dibandingkan oksigen yang dihantarkan ke jaringan.³²



2.1.6.5 Nilai Normal Hemoglobin

Nilai normal yang paling sering dinyatakan adalah untuk pria 14-18 gr/100 ml dan untuk wanita 12-16 gr/100 ml atau gr/dl.^{23,24}

Tabel 2.2 Nilai Normal Hemoglobin

Kelompok Umur	Nilai Normal (g/dl)
Anak 6 bulan – 59 bulan	$\geq 11,0$
Anak 6 tahun – 11 tahun	$\geq 11,5$
Anak, 12 – 14 tahun	$\geq 12,0$
Pria dewasa	$\geq 13,0$
Wanita dewasa tidak hamil	$\geq 12,0$
Wanita dewasa hamil	$\geq 11,0$

Keterangan : Batas Nilai Hemoglobin menurut WHO dan Depkes.

Dikutip dari : [Internet] <https://www.farmasi-id.com/penyakit/kadar-batas-normal-hemoglobin-menurut-who-dan-depkes/>

2.1.6.6 Pemeriksaan Hemoglobin

Pemeriksaan hemoglobin dapat dilakukan dengan metode sahli ataupun *cyanmethemoglobin*. WHO lebih merekomendasikan pemeriksaan menggunakan *cyanmethemoglobin*. Namun pemeriksaan Hb dengan menggunakan *cyanmethemoglobin* lebih sulit dilaksanakan dikarenakan memerlukan alat dan perlakuan khusus. Sehingga metode sahli masih tetap dijadikan sebagai baku emas pemeriksaan hemoglobin.²⁵

Pada metode Sahli hemoglobin dihidrolisis dengan HCL menjadi asam hematin yang berwarna coklat, warna yang terbentuk dibandingkan dengan warna standar. Perubahan warna asam hematin dibuat dengan cara pengenceran, sehingga warna sama dengan warna standar. Cara ini kurang baik karena tidak semua hemoglobin dapat diubah menjadi asam hematin misalnya karboksihemoglobin, methemoglobin dan sulfhemoglobin. Hasil pemeriksaan dipengaruhi oleh faktor subjektivitas, warna standar pudar, penyinaran, faktor kesalahan mencapai 5%-10%.²⁶

Berbeda dengan Easy Touch GCHb yang merupakan alat kesehatan digital multichcek yang digunakan untuk mengukur hemoglobin yang penggunaanya akurat, tidak sakit, kapan saja dan dimana saja. Alat ini sudah cukup akurat terbukti

karena sudah lulus uji dan proses untuk mengetahui hasilnya cukup cepat serta sangat mudah dalam penggunaannya. Orang awam sekalipun dapat menggunakan alat ini dengan mengikuti panduan yang terdapat dalam kemasan. Keakuratan dari alat ini dijadikan sebagai standar patokan dalam pengukuran Hb karena mendekati hasil yang sebenarnya bila dibandingkan dengan alat yang lain.⁴³

2.1.6.8 Faktor yang mempengaruhi hasil pemeriksaan kadar hemoglobin

Hal-hal yang dapat mempengaruhi hasil pemeriksaan hemoglobin, antara lain sebagai berikut:

1) Reagen

Reagen adalah bahan pereaksi yang harus selalu baik kualitasnya mulai dari saat penerimaan, semua reagen yang dibeli harus diperhatikan nomor lisensi kadaluarsanya, keutuhan wadah atau botol atau cara transportasinya.

2) Metode

Laboratorium yang baik adalah laboratorium yang mengikuti perkembangan metode pemeriksaan dengan pertimbangan kemampuan laboratorium tersebut dan biaya pemeriksaannya. Petugas laboratorium harus senantiasa bekerja dan mengacu pada metode yang digunakan.

3) Bahan pemeriksaan

Bahan pemeriksaan meliputi; cara pengambilan specimen, pengiriman specimen, penyimpanan specimen, dan persiapan sampel.

4) Lingkungan

Dalam hal ini dapat berupa; keadaan ruang kerja, cahaya, suhu kamar, kebisingan, luas dan tata ruang.

5) Tenaga laboratorium.

Dalam hal ini yang diharapkan adalah petugas laboratorium harus menguasai alat dan teknik dibidang laboratorium.

6) Sampel

Kekeruhan dalam suatu sampel darah dapat mengganggu dalam fotokolorimeter dan menghasilkan absorbensi dan kadar Hb yang lebih tinggi dari yang sebenarnya. Kekeruhan semacam ini dapat disebabkan antara lain oleh leukositosis, lipemia, dan adanya globulin abnormal.²⁶

2.1.7 Pengaruh Hemoglobin Terhadap $\dot{V}O_2$ Maks

Hemoglobin yang terkandung dalam eritrosit, memiliki fungsi sebagai pengangkut oksigen. Hal ini menjelaskan bahwa jumlah sel-sel darah merah dan jumlah hemoglobin (Hb) didalam sel-sel darah sangat penting untuk menentukan berapa banyak oksigen yang dapat diangkut pada aktivitas fisik maupun bekerja. Sistem pengangkutan oksigen dalam tubuh terdiri atas paru-paru dan sistem kardiovaskuler. Pengangkutan oksigen ke jaringan bergantung pada jumlah oksigen yang masuk ke paru-paru, aliran darah ke jaringan dan kapasitas pengangkut oksigen dalam darah. Jumlah oksigen dalam darah ditentukan oleh jumlah oksigen yang larut, kadar hemoglobin (Hb) dalam darah dan afinitas hemoglobin terhadap mioglobin yang terdapat didalam otot merah, sehingga dalam keadaan kekurangan oksigen misalnya setelah kerja fisik atau olahraga yang berat, oksigen akan dilepas. Oksigen yang dilepas oleh hemoglobin nantinya akan digunakan oleh mitokondria sel otot untuk sintesis ATP. Semakin banyak oksigen yang dapat digunakan oleh metabolisme, maka nilai $\dot{V}O_2$ Maks juga akan meningkat dan menghasilkan kekuatan fisik yang dan kebugaran jasmani yang baik.^{28,29}

- **Peran hemoglobin di tingkat alveolus**

Hemoglobin berperan sebagai pengikat O₂, memindahkan O₂ segera setelah molekul ini masuk ke darah dari alveolus. Hanya O₂ larut yang berperan membentuk PaO₂, O₂ yang berikatan dengan Hb tidak dapat ikut membentuk PaO₂ darah. Ketika darah vena sistemik masuk ke kapiler paru, Po₂nya jauh lebih rendah daripada PO₂ alveolus, sehingga O₂ akan berdifusi ke dalam darah, sehingga terjadi peningkatan PaO₂ darah. Setelah PaO₂ darah meningkat persentase Hb yang dapat berikatan dengan O₂ juga akan meningkat. Karena itu, sebagian besar O₂ yang telah berdifusi ke dalam darah dan berikatan dengan Hb tidak lagi berperan menentukan PaO₂.⁴²

- **Peran hemoglobin di tingkat jaringan**

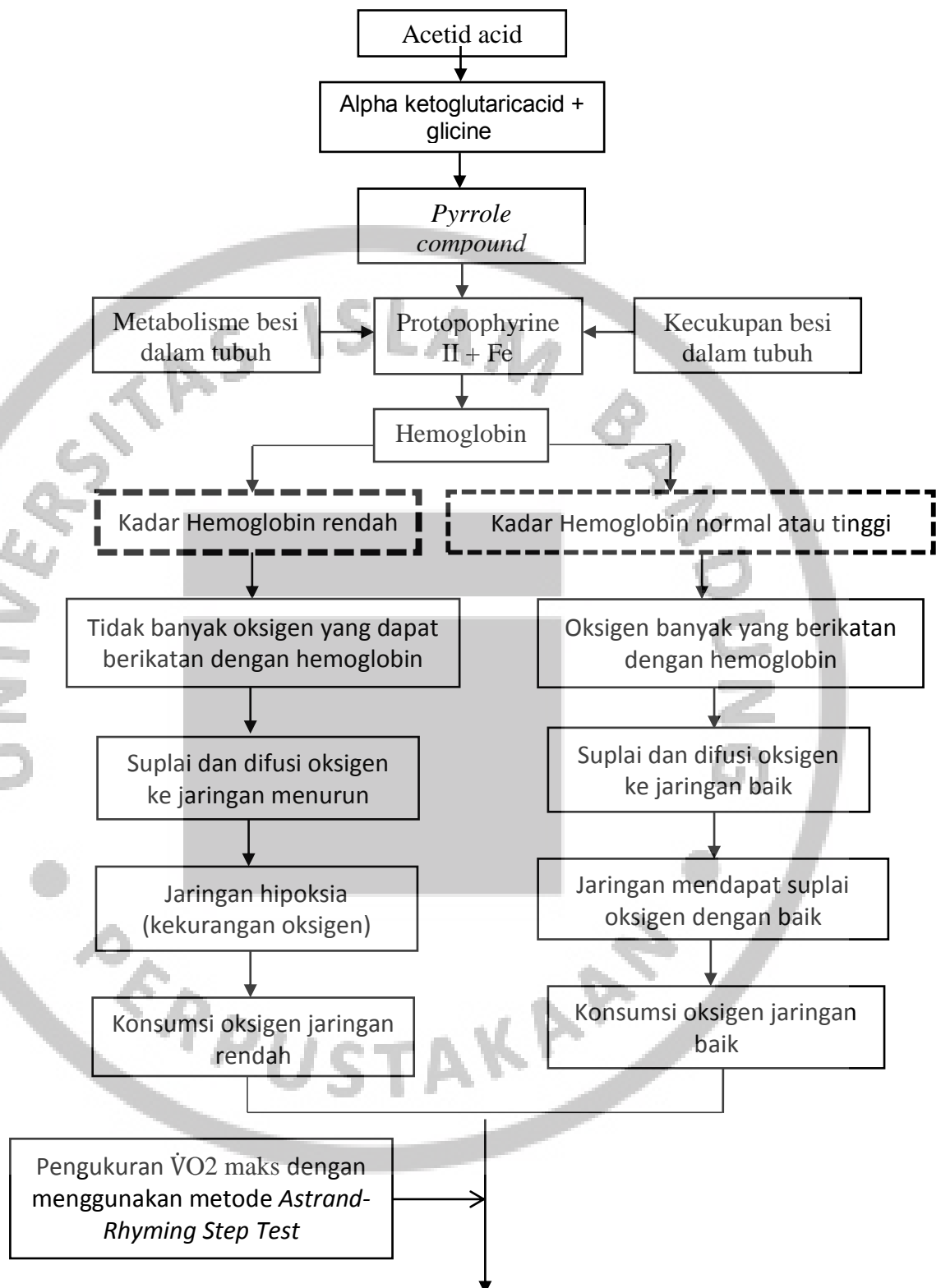
Situasi kebalikannya terjadi di tingkat jaringan. Karena Po₂ darah yang masuk ke kapiler sistemik jauh lebih besar daripada Po₂ jaringan sekitar, O₂ akan berdifusi dari darah ke jaringan, sehingga terjadi penurunan Po₂ darah. Ketika Po₂ darah turun, Hb harus melepaskan sebagian O₂ yang dibawanya sehingga % saturasi Hb berkurang. Sewaktu O₂ yang dilepaskan oleh Hb larut dalam darah, Po₂ darah meningkat kembali dan melebihi Po₂ jaringan sekitar. Hal ini mendorong perpindahan lebih lanjut O₂ keluar dari darah, meskipun jumlah total O₂ dalam darah telah turun. Ketika Hb melepaskan O₂ secara maksimal sesuai Po₂ di kapiler sistemik, barulah Po₂ darah turun hingga serendah Po₂ jaringan sekitar. Pada tahap ini tidak ada lagi proses difusi O₂.⁴²

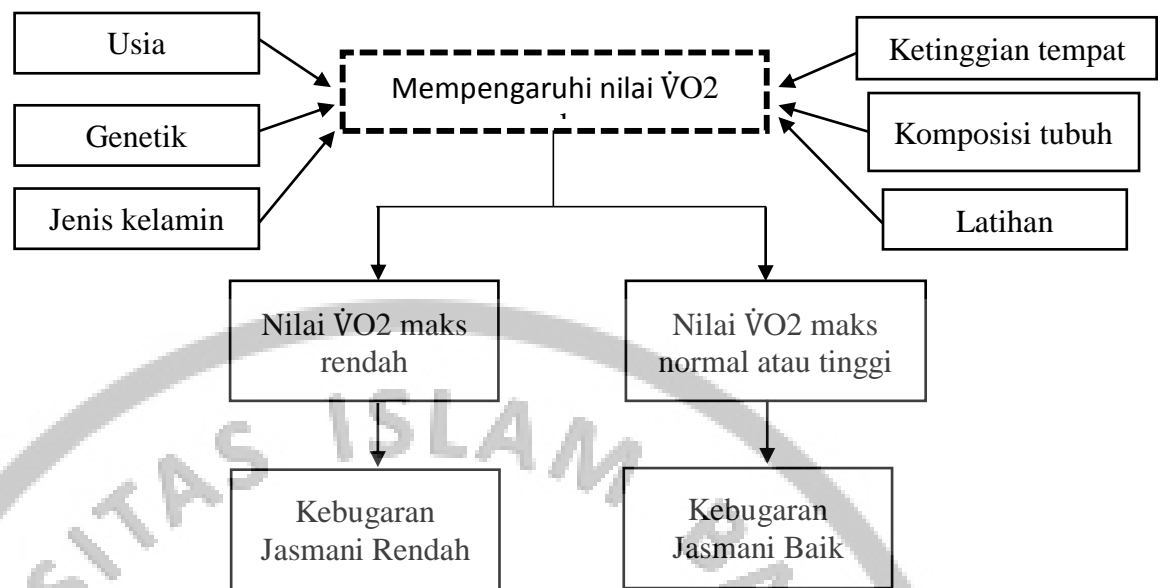
2.2 Kerangka Pemikiran

Hemoglobin merupakan protein yang kaya zat besi yang memiliki afinitas terhadap oksigen dan dengan oksigen itu membentuk oksihemoglobin di dalam sel darah merah. Heme di bentuk dalam mitokondria dan menambah *acetid acid* menjadi alpha ketoglutaricacid + glicine membentuk “*pyrrole compound*” menjadi protoporphyrine II yang dengan Fe berubah menjadi heme. Selanjutnya 4 heme bersenyawa dengan globulin membentuk hemoglobin. Kemampuan hemoglobin untuk mengikat oksigen yang terdapat di alveoli dan membawanya untuk disalurkan ke dalam jaringan menjelaskan bahwa hemoglobin memiliki peranan yang amat penting. Ketika darah melewati kapiler jaringan yang membutuhkan oksigen, oksihemoglobin melepaskan oksigen.²⁸

O₂ akan diikat oleh hemoglobin dan didistribusikan ke seluruh sel tubuh yang berfungsi untuk bahan metabolisme. O₂ akan didistribusikan melalui pembuluh darah, setelah melepaskan O₂, hemoglobin akan berikatan dengan CO₂ dan akan membawa CO₂ menuju jantung lalu akan ke paru paru untuk dikeluarkan dari tubuh. Pada saat berolahraga pernafasan akan menjadi lebih cepat, mekanisme ini terjadi karena tubuh melakukan kompensasi untuk memenuhi kebutuhan oksigen.²⁹

Berdasarkan teori di atas, hemoglobin memiliki pengaruh terhadap daya tahan jantung paru. Semakin tinggi kadar hemoglobin seseorang akan sangat membantu dalam besarnya volume *transport* oksigen dalam tubuh. Semakin banyak oksigen yang dapat disalurkan ke jaringan untuk proses metabolisme, maka akan semakin tinggi volume konsumsi oksigen maksimal permenit ($\dot{V}O_2$ Maks). Nilai $\dot{V}O_2$ Maks berbanding lurus dengan tingkat kebugaran jasmani seseorang.





Gambar 2.2 Diagram Kerangka Pemikiran

Keterangan: Tidak Diteliti
 Diteliti