

BAB III
RESPIRASI DAN KREATIVITAS GURU
DALAM MENGAJARKANNYA

A. Pengertian Respirasi

Salah satu gejala hidup ialah bernafas. Pada prinsipnya, bernafas berarti mengambil oksigen (O_2) dan mengeluarkan karbon dioksida (CO_2). Sesungguhnya pernafasan adalah tidak sesederhana itu. Mulai dari amuba yang melakukan pernafasan secara difusi di sepanjang permukaan tubuhnya hingga pada pernafasan yang menggunakan sistem-sistem yang kompleks, menunjukkan keanekaragaman proses pernafasan atau respirasi tersebut.

Yang jelas semua organisme memerlukan sejumlah energi untuk kelangsungan hidupnya. Transformasi energi terjadi di dalam proses-proses metabolisme di mana molekul-molekul bahan bakar yang kompleks diuraikan menjadi ikatan-ikatan fosfat berenergi tinggi atau ATP (Adenosine triphosphate). Dengan kata lain, respirasi adalah suatu proses degradasi.

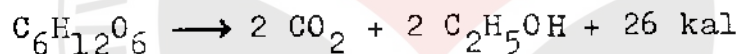
Reaksi degradasi di mana digunakan O_2 bebas disebut respirasi aerobik, sedangkan bila tidak menggunakan O_2 bebas disebut respirasi anaerobik. Respirasi

anaerobik biasa disebut fermentasi (peragian) karena adanya enzim atau ferment yang berperan penting dalam reaksi tersebut. Pada pertengahan abad ke-19, Louis Pasteur menyebutkannya "life without air" (Hake, Baker, Allen, 1971: 34).

Di dalam respirasi aerobik pada akhirnya dilepaskan sejumlah besar energi. Misalnya degradasi glukosa, reaksi kimianya ditulis sebagai berikut:



Jika oksigen kurang atau tidak ada, maka jaringan dapat bernafas secara anaerobik. Reaksi kimianya dikenal sebagai reaksi Embden-Meyerhof (Wildam Yatim, 1974: 223). Reaksi kimianya ditulis sebagai berikut:

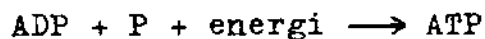


Pada respirasi anaerobik, energi yang dibebaskan jauh lebih sedikit. Atau dikatakan bahwa pada pernafasan aerobik terbentuk sejumlah besar molekul ATP, sedangkan pada pernafasan anaerobik terjadi jauh lebih sedikit molekul ATP.

Energi yang terbentuk dari reaksi degradasi ini, tidak langsung digunakan oleh makhluk hidup, tetapi disimpan di dalam sel-sel dalam bentuk ATP.

ATP ini terbentuk dari penambahan fosfat ke ADP

(Adenosine diphosphate) dengan menggunakan energi yang didapat dari degradasi glukosa misalnya. Di dalam reaksi ditulis:



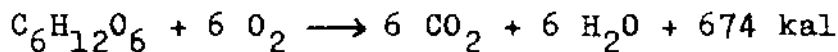
Bila organisme membutuhkan energi, maka dengan cepat terjadi reaksi konversi dari ATP menjadi ADP yang membebaskan energi.

Sebagian besar hewan bersifat aerob, yaitu memerlukan oksigen bebas untuk mengadakan pernafasan. Sebagian kecil organisme bersifat anaerob, artinya dapat melakukan pernafasan anaerobik dengan pertolongan enzim-enzim. Enzim-enzim pernafasan, misalnya dehidrogenase dan peroxidase (Dodds & Hurn, 1974: 115). Enzim pernafasan terdapat di dalam setiap sel, dan umumnya terdapat di dalam protoplasma, sedikit sekali yang terdapat di dalam vakuola atau di dalam dinding sel.

B. Pernafasan pada Tumbuhan dan Hewan

Proses pernafasan pada tumbuhan adalah kebalikan daripada proses fotosintesis (asimilasi karbon). Itu sebabnya pernafasan merupakan reaksi degradasi atau katabolisme (disimilasi), di mana energi yang tersimpan oleh proses asimilasi ditimbulkan kembali untuk menyelenggarakan proses-proses kehidupan.

Bila heksosa kita ambil sebagai sumber energi, kemudian dioksidasi dengan menggunakan oksigen bebas, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Proses ini membebaskan sejumlah energi, sebagian berbentuk panas dan sebagian berupa energi yang dipergunakan untuk kelangsungan hidupnya, misal untuk tumbuh. Dalam proses di atas, dipergunakan 6 mol O_2 dan dihasilkan 6 mol CO_2 pula. Dikatakan bahwa koefisien respirasi (K.R) nya adalah:

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} = 1$$

Koefisien respirasi ialah jumlah CO_2 yang dibebaskan dibagi jumlah O_2 yang diperlukan di dalam respirasi. Biasanya jarang diketemukan koefisien respirasi sama dengan satu. Hal ini dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

- (1). Macam substrat.
- (2). Temperatur.
- (3). Kadar O_2 di dalam udara.
- (4). Konsentrasi CO_2 di dalam udara.
- (5). Persediaan air.
- (6). Cahaya.
- (7). Luka.

(8). Pengaruh bahan kimia.

Macam substrat mempengaruhi koefisien respirasi karena hal ini tergantung pada banyaknya atom C dan O yang ada di dalam senyawa organik yang digunakan. Kegiatan respirasi berbeda-beda pada temperatur yang berbeda-beda pula. Pada 0°C respirasi sangat sedikit, tetapi pada 30°C hingga 40°C respirasi sangat giat. Di bawah 0°C , respirasi sangat sukar untuk diselidiki.

Kadar oksigen di udara normal berkisar pada 20 % volume. Penyimpangan yang menyolok dari keadaan ini akan mempengaruhi respirasi. Demikian pula dengan konsentrasi CO_2 di dalam udara akan berpengaruh pada respirasi. Kadar CO_2 di dalam udara normal adalah 0.03 % volume. Pengaruh kadar O_2 dan CO_2 di dalam udara terhadap respirasi masih tergantung pada jenis tumbuhan. Apabila konsentrasi CO_2 naik sampai 10 % dan konsentrasi O_2 turun sampai 0 %, maka respirasi akan terhenti. Hal ini bisa terjadi pada kondisi tanah yang buruk ventilasinya.

Kegiatan respirasi hanya berjalan bila substrat dalam keadaan basah. Dari percobaan Bailey dan Gurjar terhadap gandum, ternyata makin basah butir-butirnya, makin banyak CO_2 yang dibebaskan dalam kegiatan respirasi (Dwijoseputro, 1978: 125).

Cahaya dibutuhkan dalam reaksi fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat. Dengan demikian, banyaknya substrat bertambah dan hal ini dapat mempergiat respirasi. Jaringan yang luka sangat membutuhkan kegiatan untuk menyembuhkannya, dan hal ini menuntut kegiatan respirasi yang tinggi.

Pada tumbuhan tingkat tinggi, heksosa inilah yang lazim digunakan pada proses pernafasan. Bila terdapat lemak, maka lemak itu baru mengalami oksidasi setelah heksosa habis. Untuk itu lemak dirubah dahulu menjadi asam lemak dan gliserol, baru mengalami oksidasi. Demikian pula dengan protein, baru digunakan di dalam respirasi bila karbohidrat dan lemak sudah habis. Protein sebelum dioksidasi diuraikan dahulu menjadi asam amino.

Pada tumbuhan, pernafasan itu berlangsung sangat lambat. Pada beberapa jenis tumbuhan, misalnya kubis terdapat kenaikan suhu yang tinggi, sampai 15°C di atas suhu lingkungannya. Hal ini mengherankan. Panas ini tidak digunakan oleh tumbuhan, tetapi terbang begitu saja. Kalau pada hewan, biasanya panas yang terjadi digunakan untuk mempertahankan suhu tubuh. Air yang terlepas sebagai hasil respirasi disebut air metabolisme.

Pada tumbuhan tidak ada alat pernafasan khusus. Hal ini dimungkinkan karena beberapa hal, antaranya:

- (1). Setiap organ mengurus pernafasan sendiri. Sangat sedikit transport gas antara organ satu dengan organ yang lain meskipun di dalam tumbuhan terdapat pembuluh-pembuluh cairan.
- (2). Tumbuh-tumbuhan tidak membutuhkan banyak pertukaran gas. Akar, batang, dan daun bernafas dengan kecepatan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan hewan. Hanya selama fotosintesis terjadi pertukaran gas yang agak besar.
- (3). Difusi gas ke dalam tumbuhan terjadi pada bagian-bagian yang relatif dekat ke permukaan udara. Pada tumbuhan dengan batang dan akar yang besar dan tebal, sebenarnya hanya lapisan luarnya saja yang memiliki sel-sel yang hidup. Lapisan bagian dalam umumnya adalah sel-sel yang telah mati yang berfungsi semata-mata untuk penunjang secara mekanis.
- (4). Hampir seluruh sel-sel dari tumbuhan minimal mempunyai bagian permukaan yang berhubungan dengan udara. Rongga-rongga udara terdapat dalam jaringan parenchim daun, batang, dan akar. Jadi, difusi gas pernafasan dapat berlangsung melalui udara di dalam rongga-rongga ini.

Pada akar, difusi udara dari celah-celah butiran tanah ke bulu akar. Dari sana melalui difusi pula ke jaringan-jaringan yang lebih dalam. Pada sel-sel yang dindingnya telah mengalami penebalan, maka gas pernafasan lewat lentisel. Pada batang yang masih muda, pernafasan lewat kulit. Pada korteks terdapat parenchim dengan rongga-rongga yang berisi udara.

Pada daun, gas pernafasan melalui stomata dan disimpan dalam jaringan bunga karang yang mempunyai rongga-rongga yang besar. Stomata banyak mengandung klorofil. Membuka dan menutupnya stoma dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu penumpukan glukosa dan perubahan pH. Fotosintesis terjadi siang hari waktu ada sinar matahari. Hasil fotosintesis terbentuk glukosa di mana glukosa menyerap air dari sekitarnya, akibatnya stoma terbuka. Sebaliknya, waktu malam tidak terjadi fotosintesis sedang glukosa diangkut ke bagian-bagian tubuh lain, akibatnya stoma menjadi kisut dan tertutup.

Daya tarik air dari sel-sel termasuk stomata disebut turgor. Keadaan turgor ini tergantung dari perbedaan tekanan osmosis dari sel-sel tersebut dengan sel-sel sekitarnya. Tekanan osmosis dari sel-sel epidermis berbeda-beda untuk waktu berlainan.

Di bawah ini dikutip tekanan osmosis melalui pengukuran pada sel-sel stomata.

Waktu	Tekanan osmosis lb/in ²
07.00	212
11.00	456
17.00	272
24.00	191

Tabel 1.

(Kimball, 1979: 168)

Tekanan osmosis pada sel-sel di bawah jaringan epidermis biasanya konstan sebesar 150 lbs/in².

Sementara itu, pH juga memegang peranan. Jika pH lingkungan sel penutup itu tinggi (alkalis), maka stomata membuka. Sebaliknya, bila pH rendah (asam), maka stomata tertutup. Keadaan tinggi rendahnya pH ini dipengaruhi oleh akumulasi molekul dan ion-ion yang berada di dalam sitoplasma. Stomata terbuka pada pH optimum 8 (Kimball, 1979: 169).

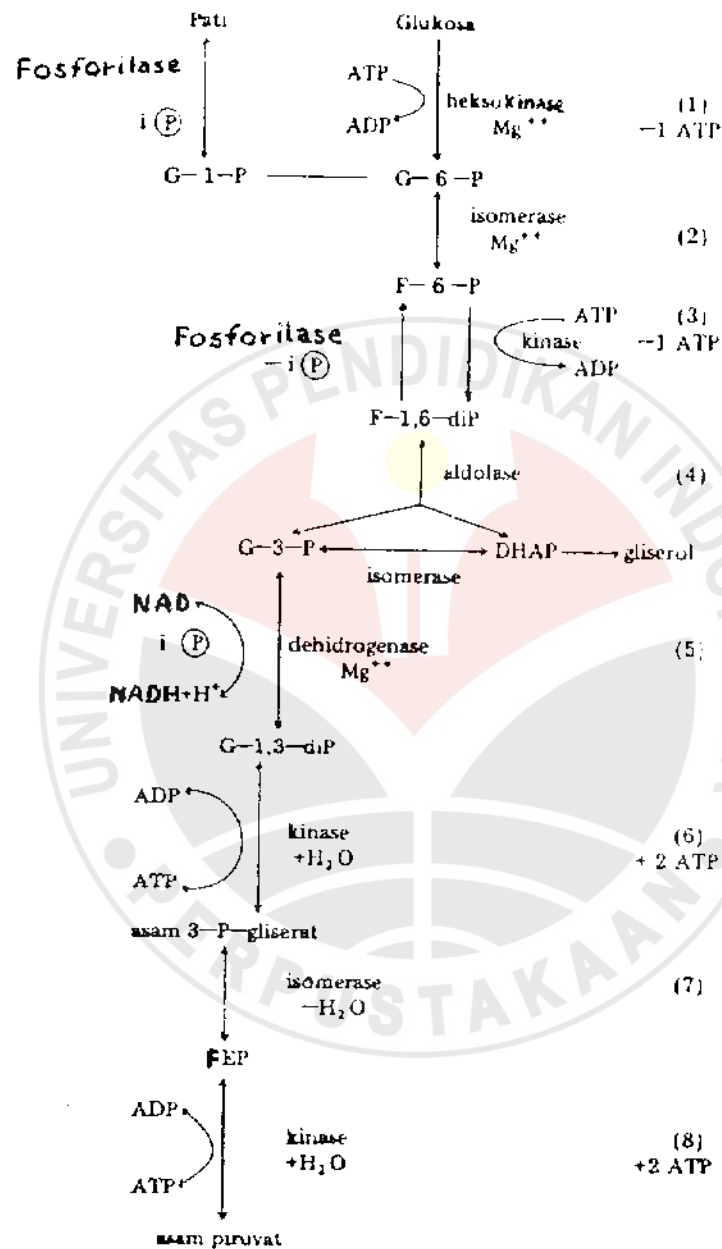
Kenaikan konsentrasi CO₂ pada rongga-rongga sel-sel parenchym pada malam hari akan menurunkan pH karena terbentuknya asam karbonat, mengakibatkan stomata

tertutup. Sebaliknya pada saat konsentrasi CO_2 berkurang karena digunakan dalam proses fotosintesis di siang hari, maka mengakibatkan pH naik sehingga stomata terbuka. Jadi, pertukaran gas yang terjadi merupakan proses yang saling berkaitan dengan proses dan faktor-faktor lain. Pada fotosintesis dilepaskan O_2 , oksigen ini berbaaur dengan O_2 yang masuk dari udara bebas, dan dipakai untuk pernafasan.

Proses difusi gas-gas hanya terjadi bilamana sel-sel berada dalam keadaan basah. Hal ini merupakan suatu masalah pada tumbuh-tumbuhan darat. Untuk menjaga supaya sel-sel yang berperan dalam pertukaran gas tetap basah, maka dinding sel bagian luar ditutupi dengan lapisan kutin yang tahan air dan gas. Lapisan kutin inilah yang menjaga supaya tumbuhan tidak mengalami penguapan air yang terlalu besar. Uap air keluar dari sel-sel tumbuhan melalui stomata. Proses ini disebut transpirasi.

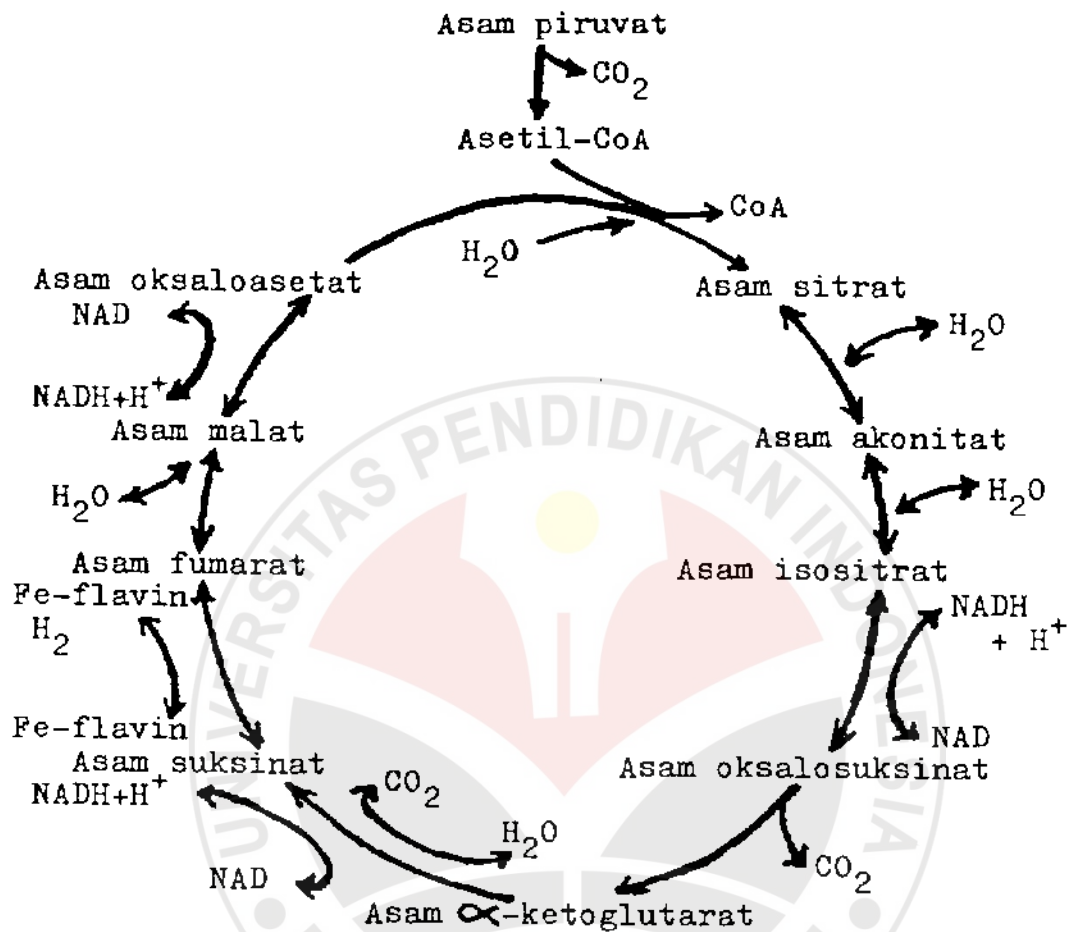
Proses respirasi anaerobik yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan merupakan suatu proses yang tidak sederhana pula. Kita ambil sebagai contoh adalah degradasi glukosa. Secara garis besar proses ini melalui tahap-tahap fosforilasi, glikolisis, dan siklus Krebs. Fosforilasi yaitu penambahan fosfat kepada molekul-

molekul glukosa menjadi fruktosa-1,6-difosfat. Glikolisis yaitu perubahan fruktosa-1,6-difosfat menjadi asam piruvat.



Gambar 1.

Proses perubahan asam piruvat menjadi CO_2 dan H_2O disebut siklus Krebs atau siklus asam sitrat.



Gambar 3

Pasangan elektron yang dihasilkan ditangkap oleh sistem pengangkutan elektron di mana O_2 berfungsi sebagai aseptor elektron. Dengan cara ini, setiap pasang elektron akan menghasilkan tiga molekul ATP melalui sistem sitokrom.

Tiap bagian tumbuhan memiliki kecepatan respirasi yang berbeda-beda. Tabel berikut menunjukkan kecepatan respirasi pada beberapa bagian tumbuhan.

Jaringan	Kecepatan respirasi $\text{mm}^3 \text{O}_2/\text{gr}/\text{jam}$
Biji (istirahat)	0.00001
Biji (berkecambah)	150
Daun	332

Tabel 2.

(Marshall, 1982: 173)

Pada umumnya, kecepatan respirasi pada tumbuhan adalah lebih rendah dibandingkan dengan pada hewan. Hal ini disebabkan karena tumbuh-tumbuhan pada umumnya tidak berpindah tempat sehingga hanya dibutuhkan sedikit energi untuk sintesa molekul-molekul organik dan substans-substans penyusun membran-membran dan alat transport. Karena kebutuhan energinya kecil, maka tumbuhan lebih mampu berada di dalam kondisi anaerob dibandingkan dengan hewan.

Selanjutnya kita bicarakan respirasi pada hewan. Berbeda dengan tumbuhan, respirasi pada hewan berlangsung melalui alat pernafasan tertentu, kecuali pada

hewan bersel satu dan sebagian hewan-hewan rendah lain di mana terjadi difusi langsung melalui permukaan tubuhnya saja. Secara umum, permukaan tubuh yang berfungsi untuk pernafasan memiliki keadaan seperti berikut:

- (1). Permukaannya luas, umumnya dengan membentuk lipatan yang banyak sehingga menambah luas permukaannya.
- (2). Permukaannya tipis, supaya difusi dapat berlangsung cepat.
- (3). Permukaannya selalu berhubungan dengan udara luar, baik secara langsung maupun melalui rongga-rongga udara.
- (4). Permukaannya basah karena pertukaran gas memerlukan media cairan.

Pada hewan-hewan kecil, seperti hewan bersel satu (protozoa), hewan berongga (coelenterata), dan cacing pipih (platyhelminthes), permukaan tubuhnya telah cukup luas bagi difusi oksigen yang dibutuhkan dan CO_2 yang dikeluarkan. Pada cacing tanah, difusi O_2 melalui permukaan lapisan kutikula yang tipis dan epidermis yang basah masuk ke saluran pembuluh-pembuluh kapiler. Dari sini mengikuti sistem pembuluh darah sederhana ke seluruh tubuh. Pada keadaan normal, O_2 diangkut ke seluruh tubuh dengan tidak menggunakan haemoglobin,

tetapi semata-mata melarut ke dalam cairan tubuh.

Pada insekta, pernafasan melalui corong hawa (trachea) yang berbentuk lubang pembuluh dari permukaan tubuh ke jaringan-jaringan bagian dalam. Pembuluh-pembuluh ini bercabang-cabang yang disebut tracheolus. Tracheolus berdiameter dua milimikron pada bagian yang dekat ke permukaan dan bagian yang lebih ke dalam antara 0.6-0.2 milimikron. Panjang tracheolus adalah 0.5 mm. Pada bagian ujung akhir terkandung cairan sehingga difusi bisa berlangsung. Trachea dapat tertutup atau terbuka oleh adanya otot khusus yang berfungsi untuk itu. Oleh sebab pembuluh pernafasan ini sangat pendek, maka proses difusi dapat berlangsung efektif. Trachea terdapat sepasang yang utama di bagian lateral dan sepasang yang kecil di bagian dorsal. Dengan sistem trachea ini, kebutuhan oksigen dari hewan yang sangat aktif ini telah dapat terpenuhi.

Pada setiap segmen terdapat lubang keluar dari trachea yang disebut spiraculum atau stigma. Kadang-kadang terdapat kantung-kantung udara pada beberapa segmen tubuh, umumnya pada serangga-serangga yang sangat giat bergerak. Hanya sebagian kecil saja CO₂ yang dikeluarkan melalui stigma, sedang sebagian

besar bereaksi dengan sisa-sisa nitrogen membentuk asam urine yang keluar melalui pembuluh-pembuluh malpighi ke usus.

Sebagian insekta terutama yang hidup di air, bernafas dengan insang, misalnya pada udang dan kepiting (crustacea). Insang terletak berpasangan di pangkal anggota daerah kepala-dada, terlindung oleh rangka luar (exoskelet) berupa tameng disebut carapace. Insang itu sendiri tak bergerak, air dikayuhkan oleh anggota gerak sehingga air segar terus menerus melalui insang. Oksigen diikat oleh haemocyanin.

Pada hewan lunak (mollusca) yang hidup di air, bernafas dengan insang, sedang yang hidup di darat menggunakan alat pernafasan paru-paru. Insang terdapat sepasang misal pada siput, dan dua pasang misalnya pada lokan. Insang mengandung banyak sekali saluran halus berambut getar (cilia) untuk lewat air. Cilia membantu air bergerak masuk.

Ikan bernafas dengan insang. Mekanisme dari fungsi insang sebagai alat pernafasan ialah prinsip arus-arus berlawanan "counter currents" (Marshall, 1982:179). Air masuk dengan arah yang berlawanan dengan arah aliran darah dalam tubuh ikan. Dengan demikian, air yang berkadar oksigen yang tinggi menyentuh hampir semua

cairan darah sehingga O_2 dapat berdifusi semaksimal mungkin ke dalam aliran darah. Diperhitungkan ada kira-kira 80 % oksigen yang tersedia di dalam air dapat diabsorpsi dibandingkan dengan hanya 25 % oksigen di udara yang diserap oleh paru-paru binatang menyusui (Grenville, 1971: 69). Tetapi hal ini tidak berarti ikan mengkonsumsi oksigen lebih banyak dibandingkan dengan binatang menyusui, sebab di dalam satu liter air hanya terdapat 6 ml oksigen. Di dalam satu liter udara terdapat 210 ml oksigen. Oksigen yang dikonsumsi oleh beberapa jenis hewan, tertera dalam tabel di bawah ini,

Hewan	O_2 yang dikonsumsi $mm^3 O_2/gr/jam$
Cacing tanah	60
Katak	150
Tikus (istirahat)	2500
Tikus (aktif)	20000
Kupu-kupu (istirahat)	600
Kupu-kupu (aktif)	100000

Tabel 3.

(Marshall, 1982: 176)

Banyaknya insang tergantung pada jenis ikan. Umumnya berjumlah di antara 5 sampai 15 pasang. Tiap pasang terdiri dari sepasang filamen dan tiap filamen mengandung banyak lapisan tipis yang disebut lamella. Pada filamen ini terdapat banyak pembuluh darah. Struktur filamen yang demikian ini menyebabkan luas permukaannya menjadi sangat luas, mengakibatkan proses absorpsi oksigen menjadi efisien.

Pada beberapa jenis ikan terdapat gelembung renang (vesica natatoria) yang dapat membantu proses pernafasan karena mempunyai hubungan dengan saluran pernafasan di daerah pharynx. Sebenarnya fungsi gelembung udara terutama adalah untuk penyesuaian diri dengan tekanan udara dalam air. Jadi, sebagai alat hidrostatis.

Secara struktur anatomi, gelembung renang ini ada persamaan dengan paru-paru pada vertebrata ber kaki empat. Ikan yang memiliki gelembung renang dengan saluran udara yang masih ada hubungannya dengan saluran pencernaan, tergolong kelompok fisostomi. Bila hubungannya telah terputus sama sekali, digolongkan pada kelompok fisoklisti.

Insang ada tiga jenis menurut struktur anatomi dari jenis ikannya, yaitu:

- (1). Insang kantung, insang sederhana yang terdapat dalam kantung pada ikan tidak bertulang rahang.
- (2). Insang septum terdapat pada ikan bertulang rawan. Setiap filamen melekat pada lengkung insang yang dibangun oleh jaringan tulang rawan. Antara dua filamen yang melekat pada lengkung insang yang sama, terdapat sekat insang yang disebut septum. Lamela terletak tegak lurus pada kedua permukaan setiap filamen.
- (3). Insang operkulum pada ikan bertulang sejati. Insang ini terletak di daerah kepala, tertutup oleh tutup insang yang disebut operkulum. Operkulum ini sebenarnya merupakan lipatan integumen yang diperkuat oleh tulang sejati. Operkulum dapat membuka dan menutup. Air dari rongga mulut akan ke luar melalui operkulum yang terbuka.

Ketiga jenis insang ini tergolong ke dalam insang interna karena terletak di dalam tubuh ikan. Ada juga hewan yang memiliki insang eksterna yang terletak di luar tubuhnya, misal berudu.

Pada amphibia, respirasi terjadi melalui insang pada saat binatang itu masih hidup di dalam air. Contohnya pada berudu. Makin tinggi kedudukan sistematik hewan ini, berarti makin kurang hidup di air dan makin sering hidup di darat, maka alat pernafasannya

beralih ke kulit dan akhirnya ke paru-paru.

Pernafasan kulit meliputi pernafasan melalui permukaan tubuh sebelah luar dan permukaan kulit di dalam rongga mulut. Kulit kodok sangat tipis tanpa sisik-sisik pelindung seperti pada ikan. Kulit ini dipenuhi oleh banyak pembuluh darah kapiler serta tetap dalam keadaan basah dan licin oleh adanya sekresi dari kelenjar getah yang ada di kulit.

Di udara terbuka dan di dalam air, oksigen berdifusi ke dalam pembuluh-pembuluh kapiler darah, sedangkan CO_2 ke luar dari darah dengan cara yang sama. Di bawah permukaan kulit yang terletak di dalam rongga mulut pun terdapat banyak pembuluh darah kapiler. Oleh gerakan otot rahang bawah, maka tekanan udara di dalam rongga mulut dapat membesar atau mengecil. Hal ini mengakibatkan udara ditekan masuk atau ke luar lewat lubang hidung ke rongga mulut, sehingga memungkinkan O_2 diserap oleh darah dalam pembuluh-pembuluh kapiler di bawah kulit rongga mulut.

Peranan kulit untuk mengambil gas pernafasan berbeda-beda, ada yang sekitar 75 %, ada yang 50 %, dan ada yang hanya 25 % saja. Katak air lebih banyak menggunakan kulit untuk pernafasan dibandingkan dengan katak darat yang lebih banyak menggunakan paru-

paru. Meskipun demikian bila diperhatikan, katak yang berendam di dalam air ternyata lubang hidungnya tetap berada di atas permukaan air sehingga paru-paru bisa berfungsi untuk pernafasan.

Paru-paru amphibia banyak mengandung lekak-lekuk untuk memperluas permukaannya. Luas permukaannya adalah kira-kira dua kali luas seluruh permukaan kulit tubuh. Kapasitas paru-paru kodok, hanya kira-kira 1/16 dari paru-paru binatang menyusui.

Permukaan sel-sel epitel dari paru-paru dipenuhi oleh pembuluh darah kapiler. Oksigen diikat oleh hemoglobin yang terdapat di dalam darah kemudian didistribusikan ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah. Setiba di jaringan yang memerlukan O_2 , maka O_2 terlepas dari ikatannya dengan hemoglobin. Sebaliknya CO_2 diserap oleh darah dan dibawa kembali ke paru-paru kemudian dikeluarkan di sana dengan proses yang sama seperti penyerapan O_2 .

Reptilia umumnya memiliki kulit yang kering dan keras, tidak tembus oleh air sehingga hanya sedikit penguapan yang dapat terjadi melalui jalan ini. Reptilia memiliki trachea yang agak panjang yang diperkuat oleh gelang-gelang tulang rawan. Trachea kemudian bercabang dua, yakni bronkus kiri dan bronkus kanan.

Masing-masing bronkus masuk ke paru-paru kiri dan paru-paru kanan. Pernafasan semata-mata dilakukan melalui paru-paru.

Paru-paru memiliki permukaan yang luas dan ventilasinya lebih efisien. Paru-paru dikelilingi oleh otot-otot dan tulang-tulang rusuk. Oleh kontraksi otot antar tulang rusuk, rusuk-rusuk menjadi lebih berjauhan sehingga rongga rongga di dalamnya menjadi lebih besar. Akibatnya tekanan pada dinding paru-paru menjadi lebih kecil sehingga udara luar masuk ke dalam paru-paru. Pada keadaan sebaliknya, maka tekanan pada dinding paru-paru menjadi lebih besar sehingga udara di dalam paru-paru ditekan ke luar tubuh. Dengan mekanisme demikian, maka O_2 dan CO_2 dapat berdifusi masuk atau ke luar pembuluh darah kapiler yang memenuhi jaringan paru-paru. Pada kura-kura didapati otot inspirasi dan otot ekspirasi untuk pernafasan.

Burung memiliki temperatur tubuh yang tetap, berkisar $40^{\circ}C$ dan bernafas dengan paru-paru. Burung termasuk hewan berdarah panas. Temperatur dipertahankan terutama oleh panas yang dihasilkan oleh kegiatan otot-otot. Itu sebabnya kebutuhan akan O_2 sangat besar meskipun pada burung yang kecil namun sangat aktif.

Trachea bercabang dua, yaitu bronkus kiri dan

bronkus kanan. Selanjutnya bercabang-cabang lagi yang disebut bronkiolus dan berakhir pada gelembung-gelembung paru-paru, yaitu alveolus. Dengan adanya alveolus, permukaan paru-paru menjadi kira-kira seratus kali luas permukaan tubuh.

Di samping paru-paru terdapat kantung-kantung udara yang berjumlah beberapa pasang. Kantung-kantung udara ini terdapat pada beberapa bagian tubuh dan membantu mencukupi kebutuhan oksigen yang banyak. Sebenarnya kantung-kantung udara ini tidak mengadakan pertukaran gas, tetapi pengaturan anatomisnya membantu efisiensi dari ventilasi paru-paru. Juga kantung-kantung udara ini mengurangi berat tubuh.

Kantung-kantung udara terdapat di daerah leher, dada, perut, di antara selangka, bahkan di dalam tulang-tulang pipa. Dengan demikian menambah daya apung hewan ini. Kantung-kantung udara leher, dada depan, dan di antara selangka, berfungsi aktif pada saat ekspirasi dan lebih aktif lagi pada saat burung sedang terbang. Kantung-kantung udara dada belakang, dan perut aktif pada saat inspirasi dan lebih aktif lagi pada saat burung tidak terbang.

Respirasi pada burung dilakukan dengan bantuan otot rusuk, otot dada, dan otot perut. Selama terbang

rusuk tidak digerakkan untuk memperkuat sayap. Oleh sebab itu, selama terbang respirasi hanya dibantu oleh gerakan otot dada dan otot perut serta bantuan tekanan alat-alat perut terhadap kantung-kantung udara sehingga dapat membantu memompa aliran udara di dalam paru-paru. Saluran pernafasan pada burung secara lengkap adalah: (1) lubang hidung; (2) farinks; (3) glottis; (4) larinks; (5) trachea; (6) bronkus; (7) cabang bronkus; (8) bronkiolus dan alveolus di dalam paru-paru; (9) kantung udara.

Pada hewan menyusui (mammalia), paru-paru merupakan satu-satunya alat pernafasan. Paru-paru terdiri dari beberapa belahan (lobus), terdapat di dalam rongga dada yang dibatasi oleh sekat rongga dada atau diaphragma dengan rongga perut. Rongga dada dilapisi oleh selaput yang tipis (pleura) dinding rongga dada. Begitu pula paru-paru dibungkus oleh selaput yang tipis (pleura) paru-paru. Di antara kedua pleura tersebut didapati ruang sempit yang disebut ruang intra pleura dan berisi cairan tubuh.

Saluran pernafasan berhubungan dengan saluran pencernaan di daerah farinks. Bila makanan akan lewat saat menelan, maka anak lidah (uvula) menutup lubang hidung dalam (choanae) dan epiglottis menutup lubang

tenggorokan (glottis) sehingga makanan tidak menyimpang dari jalurnya.

Dinding lapisan dalam saluran pernafasan mulai dari lubang hidung luar (nostril) sampai ke bronkiolus terdiri dari jaringan epitel yang mengandung dua macam sel, yaitu:

- (1). Sel goblet yang menghasilkan lendir (mucus) untuk membasahi saluran pernafasan.
- (2). Sel bercilia yang berfungsi menghambat dan mendorong ke luar benda-benda asing yang turut masuk bersama udara pernafasan.

Penyerapan oksigen oleh darah berlangsung di alveolus. Pada manusia, alveolus berjumlah sekitar 750 juta, dengan luas permukaan kontak terhadap udara sekitar 929000 cm^2 atau kira-kira 50 kali luas permukaan kulit badan. Inspirasi dan ekspirasi dilakukan oleh gerakan otot antar tulang rusuk dan otot diaphragma. Penjelasan lebih lanjut akan diuraikan pada bagian berikut.

C. Mekanisme Pernafasan Manusia

Pada hakekatnya, saluran pernafasan pada manusia sama dengan pada mammalia umumnya, yaitu terdiri dari:

- (1). Hidung.
- (2). Farinks (pharynx).
- (3). Jakun (larynx).
- (4). Tenggorokan (trachea).
- (5). Cabang tenggorokan (bronchus).
- (6). Anak cabang tenggorokan (bronchiolus).
- (7). Gelembung paru-paru (alveolus).
- (8). Paru-paru.

Udara dapat masuk melalui mulut juga. Hanya bernafas melalui hidung, udara pernafasan mengalami proses-proses (a) disaring, (b) dipanaskan, (c) dilembabkan. Disaring artinya debu-debu dan benda-benda asing yang masuk bersama udara ditahan oleh rambut-rambut hidung dan kelenjar pada rongga hidung. Dipanaskan artinya disesuaikan suhunya dengan suhu tubuh. Dilembabkan maksudnya supaya pertukaran gas nanti dapat berjalan dengan lancar.

Sistem pernafasan manusia meliputi proses-proses sebagai berikut:

- (1). Ventilasi.
- (2). Pernafasan luar (pernafasan eksternal).
- (3). Pengangkutan O_2 dan CO_2 oleh darah.
- (4). Pernafasan dalam (pernafasan internal).

Pernafasan sel tergolong pada metabolisme sel.

Ad.1. Ventilasi.

Proses pertukaran udara luar dengan udara paru-paru, dapat dibagi atas menarik nafas (inspirasi) dan membuang nafas (ekspirasi). Di dalam proses-proses ini berlaku hukum Boyle yang mengatakan bahwa hasil perkalian volume dan tekanan suatu gas adalah konstan. Dengan rumus ditulis: $V P = C$.

Proses ventilasi ini dimungkinkan oleh adanya gerakan otot antar tulang rusuk dan otot diaphragma di bawah kontrol pusat saraf pernafasan pada medula oblongata. Bila kadar CO_2 di dalam darah bertambah, maka pusat saraf pernafasan dengan cepat bereaksi sehingga frekuensi pernafasan bertambah cepat. Sebaliknya bila kadar CO_2 dalam darah berkurang, maka pernafasan menjadi agak lambat. Pernafasan bisa terjadi melalui pernafasan dada dan pernafasan perut.

Pada pernafasan dada, otot antar tulang rusuk berkontraksi sehingga tulang-tulang rusuk terangkat ke atas, mengakibatkan tulang dada terdorong ke depan. Dengan demikian rongga dada membesar, tekanan pada dinding paru-paru mengecil, maka udara luar masuk. Sebaliknya bila otot antar tulang rusuk melemas, maka tulang rusuk kembali ke kedudukannya semula. Hal ini

menyebabkan rongga dada mengecil, akibatnya tekanan udara dalam paru-paru menjadi besar, maka udara ke luar (ekspirasi).

Pada pernafasan perut, otot diaphragma berkontraksi, kedudukan diaphragma menjadi agak datar ke bawah menyebabkan isi perut tertekan ke bawah depan. Akibatnya rongga dada membesar, paru-paru turut membesar sehingga tekanan udara di dalamnya mengecil mengakibatkan udara masuk (inspirasi). Selanjutnya otot diaphragma kembali rileks, diaphragma kembali ke kedudukannya semula, demikian pula perut kembali ke keadaannya semula. Akibatnya rongga dada mengecil sehingga tekanan udara di dalamnya menjadi besar, maka udara ke luar (ekspirasi).

Komposisi udara pernafasan dapat saja bervariasi. Misalnya kadar oksigen di udara dipengaruhi oleh ketinggian dari permukaan laut. Makin tinggi letaknya makin kurang kadar oksigen di udara. Lingkungan fisik seperti lingkungan perindustrian, lingkungan perkotaan, lingkungan pertanian turut menentukan komposisi udara. Kepadatan penduduk turut pula mempengaruhi komposisi udara pernafasan ini.

Komposisi udara pernafasan pada umumnya dapat ditunjukkan oleh tabel berikut.

Zat	Inspirasi % volume	Ekspirasi % volume
Oksigen	20.95	16.4
CO ₂	0.04	4.1
N ₂	79.01	79.5
Uap air	bervariasi	jenuh

Tabel 4.

(Mac Kean & Brian Jones, 1979: 86)

Seperti telah dikemukakan di depan, makin tinggi suatu tempat, makin kurang kadar oksigennya. Manusia memiliki keterbatasan terhadap penyesuaian dengan ketinggian tempat. Ada orang-orang yang telah dapat menyesuaikan diri dengan iklim daerah tinggi, tetapi berdiam secara tetap di atas ketinggian 5200 m adalah tidak mungkin meskipun tempat-tempat yang bersifat keagamaan telah diketemukan pada ketinggian hampir 6300 m. Kota yang tertinggi letaknya ialah Wenchuan di Tiongkok, yaitu 5100 m dan observatorium yang tertinggi ialah Chacaltaya di Bolivia, yaitu 5400 m. (Griffiths, 1976: 68).

Ad.2. Pernafasan Luar

Pernafasan luar yaitu proses pertukaran gas O₂

dan CO_2 antara alveoli pada paru-paru dengan darah pembuluh kapiler. Proses ini secara fisis merupakan difusi gas-gas karena perbedaan tekanan parsial O_2 dan CO_2 . Tabel berikut menunjukkan perbedaan tekanan parsial antara gas-gas di alveolus dan di darah pada paru-paru.

Gas	Udara alveolus	Sistem paru-paru	
		Arteri pulmonalis	Vena pulmonalis
O_2	104.0 mm Hg	40.0 mm Hg	104.0 mm Hg
CO_2	40.0	45.0	40.0
H_2O	47.0	47.0	47.0

Tabel 5.

(Harper, Rodwell & Mayes, 1979: 231)

Kecepatan difusi dirumuskan sebagai berikut,

$$DR = \frac{PD \times A \times S}{D\sqrt{MW}}$$

di mana:

PD = perbedaan tekanan gas antara dua fasa.

A = daerah penampang lintang antar muka.

S = daya larut gas dalam cairan tertentu.

MW = berat molekul gas.

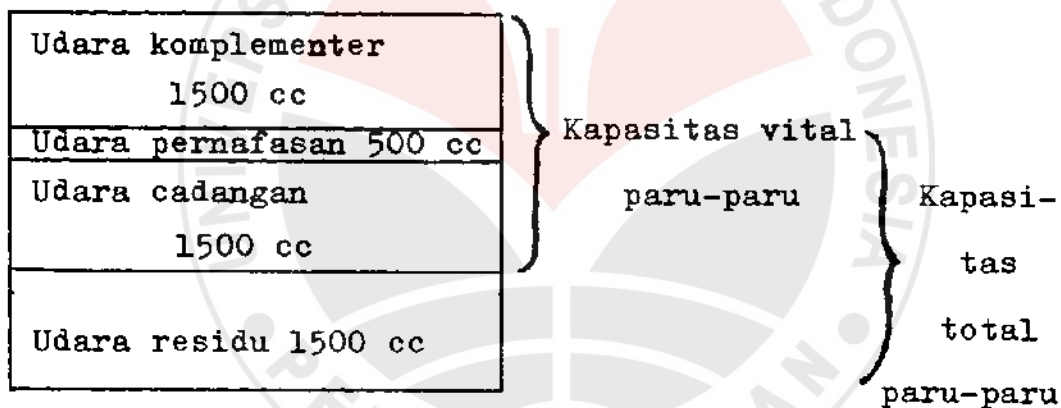
D = jarak yang harus dilalui gas dengan difusi.

$\frac{S}{\sqrt{MW}}$ = koefisien difusi, misal untuk CO₂ pada cairan tubuh adalah 20.3, untuk CO = 0.81, N₂ = 0.53

Di dalam keadaan normal, kira-kira 250 cm³ O₂ diabsorpsi setiap menit. Demikian pula CO₂ yang dikeluarkan.

Kapasitas paru-paru.

Udara yang dapat masuk atau ke luar paru-paru terbatas pada jumlah tertentu.



Gambar 4.

(Storer & Usinger, 1957: 104)

Pada saat bernafas, maka udara yang dimasukkan atau dikeluarkan adalah sebesar 500 cc. Udara ini disebut udara pernafasan. Setelah nafas dikeluarkan secara biasa, maka di dalam paru-paru masih terdapat

kira-kira 1500 cc udara yang masih dapat dikeluarkan lagi. Udara ini disebut udara cadangan. Walaupun rongga dada dikecilkan sekecil-kecilnya, tetapi di dalam paru-paru masih tetap tersisa udara sebanyak 1500 cc. Udara sisa ini disebut udara residu. Selain udara pernafasan biasa, kita masih dapat menarik nafas sedalam-dalamnya sebesar 1500 cc lagi. Udara ini disebut udara komplementer. Udara komplementer ditambah udara pernafasan dan udara cadangan disebut kapasitas vital paru-paru, yaitu sebesar 3500 cc. Kapasitas vital paru-paru ditambah udara residu disebut kapasitas total paru-paru, yaitu sebesar 5000 cc.

Kapasitas vital paru-paru pada tiap orang tidak selalu sama, tergantung oleh keadaan fisik, kegiatan, usia, jenis kelamin, dan ketinggian tempat tinggal. Untuk mengetahui kapasitas vital dapat digunakan spirometer.

Ad.3. Transport O_2 dan CO_2 dalam darah.

3.1. Transport O_2 dari paru-paru ke jantung dan ke jaringan.

Sebagian besar oksigen diangkut secara kimiawi, yaitu dengan bantuan hemoglobin. Hemoglobin disebut juga pigmen pernafasan. Hemoglobin adalah protein yang susunannya kompleks, terbentuk dari 95 % globin

(protein yang tak berwarna) dan 5 % hematin, yakni gugusan protein yang berisi atom besi (Fe) yang memberi warna merah pada hemoglobin tersebut. Tiap eritrosit berisi sekitar 280 juta molekul hemoglobin. Tiap molekul Hb berisi empat atom Fe. Setiap atom Fe ini terikat secara terpisah dengan empat atom nitrogen dalam bentuk molekul yang rumit, disebut gugusan hema. Hemoglobin dengan oksigen membentuk oksihemoglobin. $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$

Reaksi ini dipengaruhi oleh:

- a. Pengaruh CO_2 pada penggabungan O_2 dengan Hb yang disebut efek Bohr, yaitu perubahan pH pada medium di sekitar sel darah merah.
- b. Berhubungan erat dengan point a, yaitu adanya senyawa yang dibentuk di dalam eritrosit yang disebut asam 2,3 di-fosfogliserat (DPG).
- c. Peningkatan tekanan CO_2 .
- d. Peningkatan suhu.

Secara fisis sebagian kecil O_2 diangkut sebagai larutan biasa, yaitu difusi sejumlah 2-3 % dari keseluruhan oksigen ke dalam cairan darah.

3.2. Transport CO_2 dari jaringan ke jantung kemudian ke paru-paru.

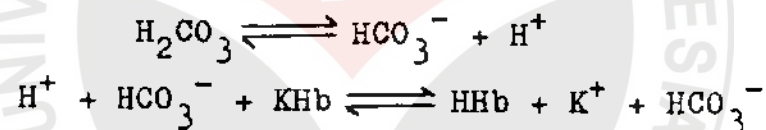
Karbon dioksida diangkut oleh darah dalam bentuk:

a. Enam % dari keseluruhan CO_2 diangkut oleh plasma darah dalam bentuk larutan biasa. Larutan tersebut berbentuk asam karbonat. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$

Reaksi ini berlangsung sangat lambat tanpa aktivitas katalisis.

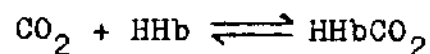
b. Sebagian besar CO_2 diangkut dalam bentuk ion bikarbonat di mana hemoglobin bertindak sebagai buffer utama di dalam eritrosit. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$

Reaksi ini dipercepat oleh enzim anhidrase karbonat yang terdapat di dalam eritrosit. Selanjutnya H_2CO_3 dalam eritrosit akan terurai:



HCO_3^- ke luar ke plasma, sebaliknya supaya keseimbangan tetap, maka ion Cl^- dalam plasma masuk ke eritrosit. Hal ini dinamakan pergeseran klorida.

c. Sebagian kecil CO_2 bergabung dalam struktur kovalent dengan gugus α -amino N-terminal residu valin pada semua empat rantai molekul hemoglobin. Reaksinya adalah reaksi bolak-balik.



Ad.4. Pernafasan dalam

Pembebasan O_2 ditentukan oleh peningkatan kebutuhan oksigen oleh jaringan. Hal ini disebabkan oleh:

- a. Peningkatan ion hidrogen atau keasaman (penurunan pH darah).
- b. Peningkatan tekanan CO_2 yang mengakibatkan efek Bohr.
- c. Peningkatan konsentrasi DPG eritrosit sebab tekanan atmosfer menurun.



Bersamaan dengan pembebasan O_2 , maka CO_2 sebagai sisa oksidasi diikat oleh darah. Selanjutnya CO_2 dibawa ke paru-paru untuk dibuang.

D. Respirasi dalam Kurikulum SMP 1975

Kurikulum SMP 1975 menganut pendekatan yang berorientasi pada tujuan. Setiap pelajaran dan bidang pelajaran memiliki arti dan peranan yang menunjang tercapainya tujuan-tujuan yang lebih dulu. Hal ini sesuai dengan pendekatan integratif yang dianut oleh kurikulum SMP 1975 ini.

1. Tujuan kurikuler dan instruksional.

Tujuan kurikuler dari bidang studi Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) adalah sebagai berikut:

- (1). Para siswa mengerti dan memahami konsep-konsep dasar IPA untuk kebutuhan sehari-hari.
- (2). Para siswa dapat memiliki pengetahuan IPA sebagai bekal untuk melanjutkan studi dan untuk memanfaatkan kemajuan teknologi.
- (3). Para siswa terampil menggunakan metoda ilmiah untuk memahami gejala alam, berdasarkan sifat-sifat dan hubungan hukum-hukumnya.
- (4). Para siswa dapat mengembangkan sikap ilmiah.
- (5). Para siswa bertanggung jawab terhadap kelestarian lingkungannya.
- (6). Para siswa mencintai alam dan mengagungkan Pencipta-Nya.

Keenam tujuan kurikuler ini berlaku sama untuk ilmu alam, ilmu hayat, dan ilmu pengetahuan bumi dan antariksa. Masing-masing tujuan kurikuler dikaitkan dengan tujuan instruksional yang sesuai dengan pokok bahasan tertentu. Lebih tepat kalau dikatakan bahwa semua tujuan instruksional pada gilirannya harus ditujukan kepada pencapaian semua tujuan kurikuler untuk selanjutnya pencapaian tujuan institusional.

Tujuan instruksional umum dirumuskan berdasarkan tujuan kurikuler dan disesuaikan dengan pokok bahasanya. Untuk topik respirasi, tujuan instruksional

umumnya adalah sebagai berikut:

- (1). Siswa dapat menjelaskan susunan dan fungsi alat-alat tubuh manusia.
- (2). Siswa dapat membandingkan susunan dan fungsi alat-alat tubuh dari berbagai jenis makhluk hidup.

2. Pokok Bahasan dan Sub Pokok Bahasan.

Di dalam kurikulum SMP 1975 ini, topik respirasi terdapat di bawah pokok bahasan susunan fungsi alat-alat tubuh manusia, sub pokok bahasan pernafasan dan alat pernafasan pada tubuh manusia. Topik ini terdapat juga di bawah pokok bahasan perbandingan sistem alat-alat tubuh pada jenis-jenis makhluk hidup sub pokok bahasan sistem pernafasan.

Bila dilihat ruang lingkup topik respirasi ini, maka sebenarnya topik ini masih dapat menjangkau tujuan instruksional lainnya, seperti siswa dapat memberi alasan pentingnya energi bagi kehidupan dan tentang cara organisme memperoleh energi dengan pokok bahasan kebutuhan energi bagi makhluk hidup.

Menurut kurikulum tersebut, sumber bahan yang digunakan ialah "Makhluk Hidup" terbitan Departemen Pendidikan dan Kebudayaan tahun 1976. Tentu saja hal ini tidak berarti hanya buku tersebut yang harus dipergunakan oleh guru maupun murid.

E. Kreativitas Guru dalam Mengajar Respirasi

1. Merumuskan Tujuan

Mengikuti taxonomi Bloom, tujuan pelajaran di bidang kognitif berturut-turut adalah (1) Ingatan, (2) Pemahaman, (3) Aplikasi, (4) Analisa, (5) Sintesis, (6) Evaluasi. Guru yang kreatif atau guru yang mengajarkan kreativitas atau guru yang mengajar secara kreatif, di dalam merumuskan tujuan instruksional akan berusaha untuk menjangkau tujuan-tujuan yang tinggi tingkatannya seperti analisa, sintesis, dan evaluasi. Pada bidang afektif seperti menerima, menanggapi, dan menginternalisasi nilai.

Di bawah ini diberikan contoh-contoh perumusan tujuan dalam topik respirasi.

Analisa: Siswa dapat menghubungkan (relates) tinggi tempat dengan kapasitas vital paru-paru dari seseorang.

Sintesis: Siswa dapat merancang (designs) suatu percobaan tentang pengaruh rokok pada pernafasan.

Evaluasi: Siswa dapat menjelaskan (explains) bagaimana meningkatkan kapasitas vital paru-paru.

Menanggapi: Siswa dapat mengemukakan beberapa idenya tentang pencemaran udara.

Menginternalisasi nilai: Siswa memprakarsai (initia-tes) suatu percobaan mengenai pernafasan tumbuhan.

Burnett mengemukakan enam belas tujuan pengajaran (teaching objectives) yang dapat mengembangkan berpikir kritis (Washton, 1967: 34). Beberapa di antaranya dapat digunakan untuk pengembangan kreativitas juga, seperti:

- (1). Menemukan masalah.
- (2). Mengembangkan hipotesa-hipotesa.
- (3). Bekerja sama.

Sebagai contoh rumusan tujuan instruksionalnya adalah sebagai berikut:

- a). Siswa dapat menjelaskan masalah-masalah yang mungkin dihadapi oleh pendaki gunung, penyelam, astronaut khususnya menyangkut segi pernafasan.
- b). Siswa dapat mengemukakan gagasan-gagasannya tentang cara-cara meningkatkan kapasitas vital paru-paru.
- c). Siswa dapat menunjukkan kerja sama yang baik di dalam mempersiapkan alat atau bahan-bahan sederhana bagi pelaksanaan percobaan kecepatan pernafasan dari berbagai hewan kecil.

2. Kegiatan Belajar Mengajar

Respirasi dengan pokok-pokok bahasan atau sub pokok bahasannya, dapat diajarkan dengan bermacam-macam

metode dan teknik mengajar. Guru IPA yang kreatif akan memprioritaskan metode ataupun teknik yang mendukung berkembangnya kreativitas. Nathan Washton mengatakan, "Basically, the science teacher who fosters creativity is equally concerned with the process as well as the product (answer) of student development in deductive and inductive reasoning" (Washton, 1967: 220). Jadi, kreativitas dapat dikembangkan melalui mengajar keterampilan proses. Keterampilan proses antara lain, mengamati, merumuskan masalah, menyusun hipotesa, serta mendapatkan sendiri pemecahannya dan merumuskan kesimpulan. Dengan kata lain, tidak semata-mata mengajarkan sesuatu, melainkan mengajarkan bagaimana belajar (to teach how to learn).

Di dalam hal ini pula, keterampilan bertanya sangat memegang peranan penting. Guru yang kreatif akan mengutamakan pertanyaan divergen, misalnya dengan memperagakan seekor ikan hidup yang ditaruh di dalam stoples berisi air setengahnya tetapi tertutup sambil guru bertanya "bagaimana pendapatmu tentang ikan ini?". Pertanyaan ini akan membawa para siswa dalam suasana belajar aktif. Dalam hal ini guru harus memperhatikan cara-cara mengajarkan kreativitas, seperti tidak langsung memberi penilaian terhadap jawaban siswa. Jadi,

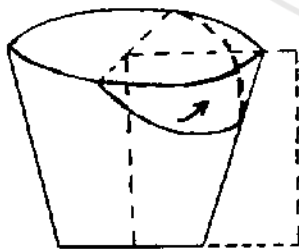
guru melakukan teknik "brainstorming". Diskusi dalam kelompok kecil memegang peranan di dalam mengembangkan sikap kerja sama dan kemampuan menganalisa. Jawaban-jawaban siswa setelah dikelompokkan dapat merupakan beberapa hipotesis terhadap masalah ikan tadi.

Selanjutnya guru boleh menggugah inisiatif murid untuk melakukan eksperimen. Dalam hal ini, ide-ide dari para murid harus tetap dihargai meskipun idenya itu tidak tepat, bahkan aneh sekali pun. Yang penting setiap murid diberi keberanian untuk mengemukakan pendapatnya. Termasuk dalam hal ini daya imajinasinya. Seandainya tidak ada satupun cara yang sesuai atau memadai yang dikemukakan oleh para siswa, maka guru boleh membimbing cara-cara melakukan eksperimennya. Tentu saja guru IPA tersebut harus menguasai seluruh langkah-langkah pelaksanaannya. Dianjurkan supaya guru mengutamakan metode penemuan. Pelaksanaannya secara lengkap dikemukakan dalam lampiran.

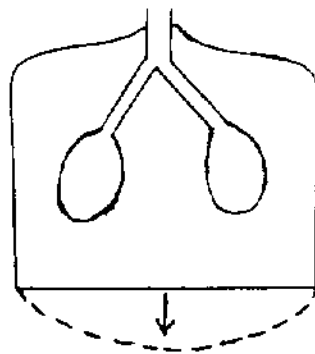
Guru IPA yang kreatif, di dalam mengajar memanfaatkan peranan analogi dan abstraksi. Misalnya berbicara tentang sistem pernafasan dapat dianalogikan dengan sistem tata kota menyangkut pertamanan hijau sebagai paru-paru kota. Rongga dada membesar dan mengecil waktu bernafas dianalogikan dengan gerakan

gagang suatu ember (gambar 5). Abstraksi dapat digunakan untuk membantu memahami bagian-bagian yang sukar, misalnya peranan enzim pernafasan dapat dijelaskan dengan suatu ceritera matematik (lihat lampiran).

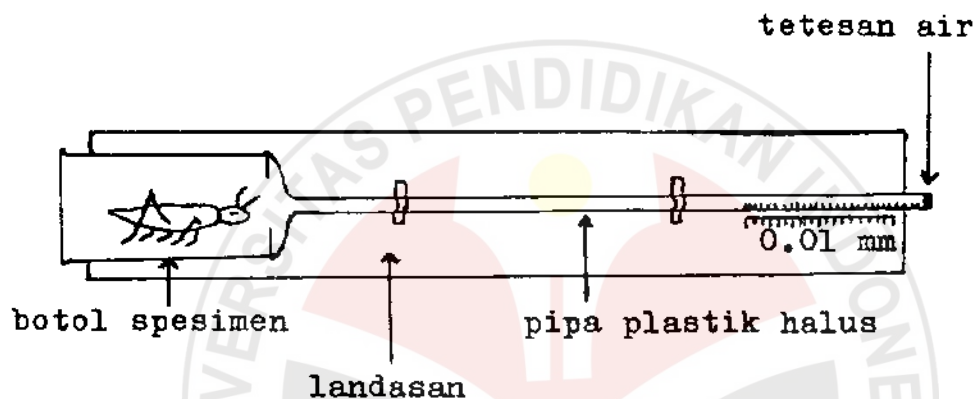
Pendayagunaan alat-alat sederhana atau barang bekas di dalam kegiatan belajar mengajar sangat dianjurkan. Guru yang kreatif akan melakukannya. Ia dapat memodifikasi atau menciptakan alat sederhana untuk keperluan mengajar belajar. Suatu model paru-paru dapat dibuat dari botol atau stoples bekas dengan dilengkapi balon-balon karet, selang plastik, plester, dan karet gelang (gambar 6). Demikian pula alat respirometer sederhana dapat dibuat sendiri dari botol kecil dan pipa plastik halus (gambar 7). Pembuatan model paru-paru, di samping kreatif memanfaatkan bahan-bahan bekas, sederhana, dan murah, juga menunjukkan hubungan antara konsep volume dan tekanan gas dari hukum Boyle dengan struktur dan fungsi paru-paru.



Gambar 5.



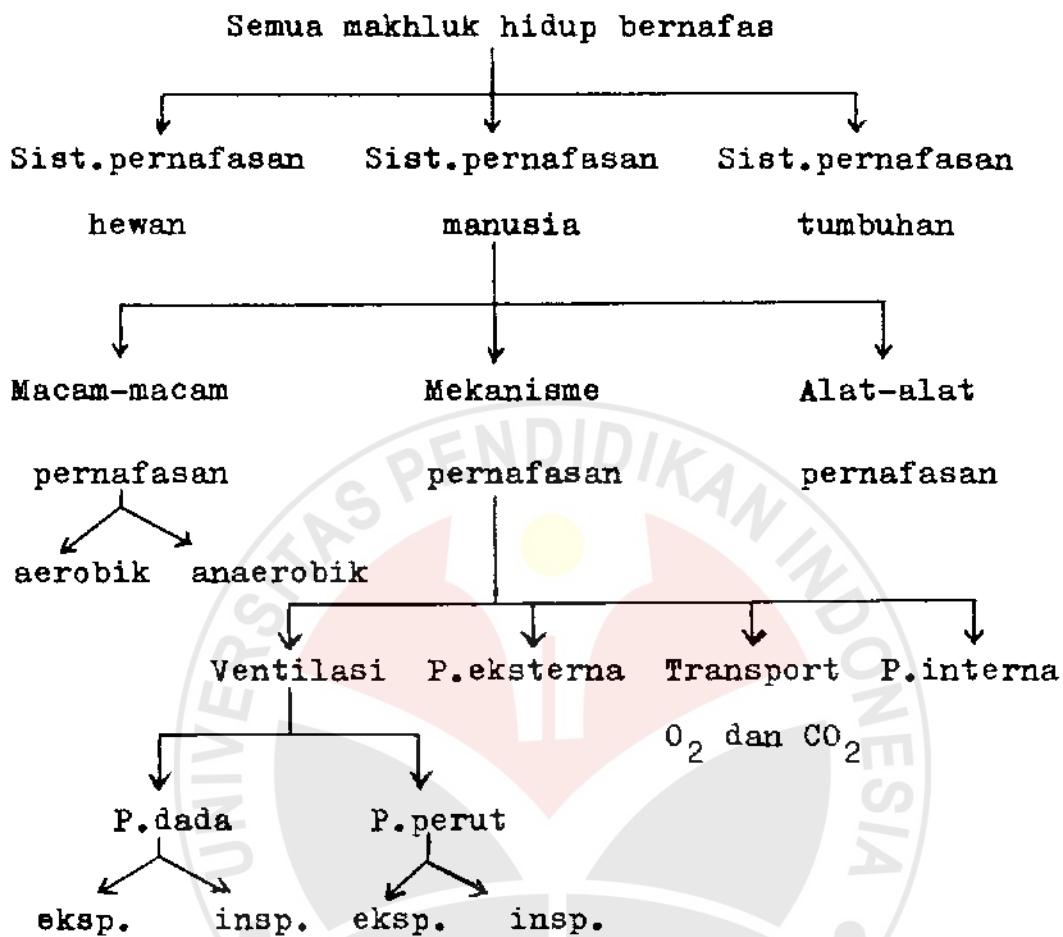
Gambar 6.



Gambar 7.

Pemetaan konsep (concept mapping) dalam bentuk "advance organizer" dapat dilakukan untuk melihat keterkaitan antara konsep-konsep dan terutama antara konsep baru dengan konsep yang sudah dimiliki siswa. Pemetaan konsep dapat membantu pengembangan kreativitas dalam arti menghubungkan-hubungkan ide-ide atau konsep-konsep yang sudah ada. Setiap siswa dapat diminta untuk membuat semacam pemetaan konsep.

Misalnya untuk topik pernafasan manusia, seperti berikut:



Gambar 8.

Joseph Novak dan Bob Gowin menegaskan, pemetaan konsep sebagai suatu teknik untuk memperluas konsep-konsep dan dalil-dalil, "can be a creative activity and may help to foster creativity" (Novak dan Gowin, 1985: 17).

Di Indonesia pengajaran IPA terpadu baru

dilaksanakan di tingkat Sekolah Dasar. Sejumlah laporan mengemukakan kecenderungan dilaksanakannya pengajaran IPA dengan pendekatan terpadu sebagai suatu inovasi di dalam pengajaran sains. Dengan melihat bahwa ruang lingkup topik respirasi berkaitan tidak hanya dengan biologi tetapi juga dengan fisika dan kimia, maka mengajar respirasi dapat dilakukan dengan pendekatan terpadu. Dan bila hal ini tampak di dalam realita kegiatan belajar mengajar dan bukan hanya merupakan satu bidang studi tetapi masih terpisah-pisah penyajiannya, maka hal ini pun dapat dipandang sebagai sesuatu yang kreatif yang dilakukan oleh guru.

3. Evaluasi

Proses belajar mengajar senantiasa disertai oleh pelaksanaan evaluasi. Namun demikian, di dalam kegiatan belajar mengajar seorang guru yang kreatif akan tidak cepat memberi penilaian terhadap ide-ide atau pertanyaan dan jawaban anak didiknya meskipun kelihatan aneh atau tidak biasa. Hal ini sangat penting di dalam melaksanakan urun pendapat.

Kalau dikatakan bahwa untuk pengembangan kreativitas, maka salah satu caranya ialah dengan menggunakan keterampilan proses (Conny Semiawan, 1983) dalam arti pengembangan dan penguasaan konsep melalui bagaimana

belajar konsep, maka dengan sendirinya evaluasi harus ditujukan pada keterampilan proses yang dicapai siswa juga. Hal ini membutuhkan observasi kegiatan siswa di samping evaluasi kemampuan penguasaan materi pelajaran.

Adanya kecenderungan melakukan penilaian hanya dengan mengerukakan test pilihan berganda, ataupun pertanyaan yang hanya menuntut satu jawaban benar, merupakan tantangan atau hambatan bagi pengembangan kreativitas.

Kegiatan-kegiatan yang merangsang berpikir kreatif dan yang seyogyanya dievaluasi, misalnya:

- (1). Dengan cara-cara apa saja ... (dapat dilakukan untuk meningkatkan kapasitas vital paru-paru?).
- (2). Tinjaulah masalah ini dari sudut yang berbeda-beda (masalah udara pernafasan misalnya).
- (3). Buatlah suatu rencana ... (percobaan yang dapat membuktikan bahwa jenis kegiatan mempengaruhi kecepatan bernafas).
- (4). Perinci semua detail ... (tentang pernafasan dada dan pernafasan perut).
- (5). Apa yang akan terjadi jika ... (suatu kota besar tanpa adanya pohon-pohonan/tumbuh-tumbuhan).
- (6). Bandingkan ... (pernafasan aerobik dengan

pernafasan anaerobik).

(7). Umpamakan, bayangkan ... (anda sebagai Walikota, apa yang akan anda lakukan untuk mencegah polusi udara?).

(8). Carilah hubungan-hubungan antara ... (merokok dan kesehatan).

Dengan singkat, evaluasi yang menekankan pengembangan kreativitas harus mengutamakan proses kegiatan belajar itu sendiri, di samping penguasaan bahan pelajarannya.

