



PENGANTAR

K3

HIPERBARIK



Qomariyatus Sholihah
Sahrir Sillehu

PENGANTAR K3 HIPERBARIK

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2014
TENTANG
HAK CIPTA
Lingkup Hak Cipta

Pasal 1 Ayat 1 :

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Ketentuan Pidana:

Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Pasal 114

Setiap Orang yang mengelola tempat perdagangan dalam segala bentuknya yang dengan sengaja dan mengetahui membiarkan penjualan dan/atau pengandaan barang hasil pelanggaran Hak Cipta dan/atau Hak Terkait di tempat perdagangan yang dikelolanya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 10, dipidana dengan pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).

Qomariyatus Sholihah
Sahrir Sillehu

PENGANTAR K3 HIPERBARIK

Diterbitkan Oleh



Pengantar K3 Hiperbarik

Penulis : Qomariyatus Sholihah
Sahrir Sillehu
Penyelaras Aksara : Yosi Sulastri
Tata Letak : Riza Ardyanto
Desain Cover : Ridwan Nur M

Penerbit:

CV. Bintang Semesta Media

Anggota IKAPI Nomor 147/DIY/2021
Jl. Karang Sari, Gang Nakula, RT 005, RW 031,
Sendangtirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta 57773
Telp: 4358369. Hp: 085865342317
Facebook: Penerbit Bintang Madani
Instagram: @bintangpustaka
Website: www.bintangpustaka.com
Email: bintangsemestamedia@gmail.com
redaksibintangpustaka@gmail.com

Cetakan Pertama, September 2022
Bintang Semesta Media Yogyakarta
x + 219 hal : 15.5 x 23 cm
ISBN : 978-623-5472-94-2

Dicetak Oleh:
Percetakan Bintang 085865342319

Hak cipta dilindungi undang-undang
All right reserved
Isi di luar tanggung jawab percetakan

Prakata

Puji syukur senantiasa kami panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tim Penyusun mampu merampungkan buku yang berjudul "Pengantar K3 Hiperbarik" dengan baik dan tepat waktu.

Buku ini berisi uraian tentang ilmu K3. Pemahaman tentang K3 Hiperbarik sangat diperlukan oleh penyelam. Buku ini merupakan bahan bacaan yang dapat digunakan sebagai pedoman kita bersama sebagai pemahaman dasar tentang K3 Hiperbarik.

Harapan kami, semoga buku ini dapat menambah khazanah dan wacana praktis di bidang Keselamatan Penyelaman dalam menghadapi tantangan dan peluang persaingan global serta bermanfaat bagi semua pihak dalam melaksanakan tugasnya. Oleh karena itu, semua kritik dan saran yang membangun tentunya akan sangat dinantikan dan diterima dengan senang hati. Sekali lagi kami sampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini.

Selanjutnya Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa kami sebagai manusia biasa tentu saja tidak terlepas dari berbagai kekurangan dan kekhilafan dalam penyusunan buku ini. Untuk itu pada kesempatan ini pula, kami sepatutnya menyampaikan permohonan maaf yang sebesar-besarnya kepada semua pihak apabila ada kesalahan atau kekurangan.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati kami segenap Tim Penyusun menaruh harapan besar agar kiranya buku ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Malang, Agustus 2022

Penyusun

Daftar Isi

Prakata.....	v
Daftar Isi.....	vii
Bab I	
Sejarah Penyelaman.....	1
Bab II	
Pengenalan Peralatan Selam	5
Bab III	
Fisika Penyelaman(<i>Physics of Diving</i>).....	11
Bab IV	
Ilmu Faal (Fisiologi).....	23
Bab V	
Ilmu Faal Penyelaman.....	33
Bab VI	
Pengaruh Kejiwaan (Efek Psikologis).....	37
Bab VII	
Nyaris Tenggelam (<i>Near Drowning</i>)	41
Bab VIII	
Sindrom Aspirasi Air Laut (<i>Salt Water Aspiration Syndrome</i>) ..	45
Bab IX	
Binatang Laut Berbahaya.....	47
Bab X	
Barotrauma.....	57
Bab XI	
Penyakit Dekompresi	81

Bab XII	
Dysbaric Osteonecrosis	95
Bab XIII	
Nitrogen Narkosis.....	99
Bab XIV	
Sindrom Neurologis Akibat Tekanan Tinggi (<i>High Pressure Neurological Syndrome, HPNS</i>)	105
Bab XV	
Keracunan Oksigen.....	109
Bab XVI	
Keracunan Karbon Dioksida (CO ₂)	117
Bab XVII	
Keracunan Karbon Monoksida (CO)	121
Bab XVIII	
Hipoksia	125
Bab XIX	
Hilangnya Pendengaran (Ketulian) pada Penyelam	133
Bab XX	
Disorientasi di Bawah Air.....	141
Bab XXI	
Infeksi dan Penyelaman.....	149
Bab XXII	
Ledakan di Bawah Air dan Kelain	157
Bab XXIII	
Pencemaran Gas Pernapasan	165
Bab XXIV	
Kehilangan Kesadaran	169
Bab XXV	
Penyelidikan Kecelakaan Penyelam.....	177
Bab XXVI	
Persyaratan Kesehatan Penyelam.....	185

Bab XXVII	
Teknik Latihan dan Penyelamatan.....	191
Bab XXVIII	
Fasilitas Pengobatan	197
Daftar Pustaka	207
Lampiran A	207
Tentang Penulis	218

Bab I

Sejarah Penyelaman

A. Sejarah Penyelaman

Sejarah tidak mencatat penyelam pertama di dunia. Teknik penyelaman sejak zaman dahulu sama dengan cara penyelam yang dilakukan pada saat ini. Penyelaman zaman dahulu menggunakan batu pemberat untuk mempermudah masuk ke dalam air, tetapi diperkirakan mereka belum pernah menyelam > 30-meter dan tidak >2 menit. Penyelaman pada awalnya digunakan untuk keperluan militer dan keselamatan kapal. Sejak tahun 33 SM, dijelaskan bahwa Alexander Agung menyelam di dalam sebuah lonceng (*diving bell*). Pada perang laut di tahun 400 SM-1800 M dapat diketahui bahwa penyelam telah berkontribusi aktif.

Pada sejarah Romawi Kuno tertulis pemakaian alat selam menggunakan udara permukaan pertama kali. Pada tahun 1977 Pliny menggunakan pipa udara dari permukaan guna menyelam. Alat ini merupakan alat "*snorkel*" yang pertama. Pemakaian alat tersebut terbatas pada penyelaman di permukaan karena terdapat "ruang hampa" di dalam pipa yang tidak diperbolehkan terlalu panjang.

Sejak tahun 1500 M sudah dibuat rancangan pakaian untuk menyelam. Namun sebagian besar tidak bisa dipakai untuk menyelam terlalu dalam. Hal tersebut memperlihatkan besarnya keinginan manusia untuk dapat berada di bawah air meskipun hanya dalam

waktu yang singkat. Sekitar tahun 1680 orang Italia bernama Borelli membuat suatu alat menyerupai peralatan selam disertai sirkulasi udara untuk bernapas. Meskipun belum terlihat praktis, ide tersebut telah mendapat respons yang baik pada saat itu. Berdasarkan berbagai percobaan hampir semua peralatan selam yang dibuat memiliki bentuk yang kurang modern dan tidak dapat berfungsi dengan baik. Namun, semenjak abad ke-17 penggunaan “lonceng penyelaman” (*Diving Bell*) sudah berhasil digunakan dengan baik. Helm untuk penyelaman perlahan dapat diterima sebagai suatu teknik penyelaman bersamaan dengan ditemukannya peralatan pompa udara yang efisien pada tahun 1800.

Pada saat itu pompa udara adalah cara utama guna menyuplai udara untuk penyelam. Hal ini membuat penyelaman dapat dilakukan lebih dalam dan lama, sekaligus dapat menyebabkan masalah fisiologis lingkungan di bawah air. Pada tahun 1837 Agustus Siebe membuat pakaian selam yang merupakan cikal bakal pakaian selam saat ini. Namun penemuan peralatan selam yang dilengkapi udara untuk bernapas yang dibawa oleh penyelam tidak dilengkapi dengan kompresor dan reservoir udara yang adekuat. Pada tahun 1865, Benoist Rouquayrol menemukan regulator yang dapat dipakai pada peralatan selam SCUBA (*Self-Contained Underwater Breathing Apparatus*). Namun karena belum ditemukannya kompresor dan reservoir udara yang adekuat, pemakaiannya terbatas hanya untuk penyelaman dengan pasokan udara permukaan. Pada tahun 1878 H. A. Fleuss menciptakan alat selam tertutup oksigen sebagai alat untuk bernapas. H. A. Fleuss menggunakan potasium dalam bentuk soda untuk menyerap karbon dioksida yang dikeluarkan melalui pernapasan. Penemuan ini adalah dasar dari pembuatan alat selam sirkuit modern.

Penyelaman di era akhir tahun 1800 dapat mencapai kedalaman >50 meter, tetapi masalah dekompresi (*bends*) muncul sebagai masalah

utama yang banyak mengakibatkan cederanya para penyelam. Sekitar awal abad ke-20 Dr. Haldane membuat tabel dekompresi guna mengatasi masalah tersebut.

Tabel tersebut dibuat berdasarkan dugaan bahwa masalah dekompresi dapat dihindari dengan melakukan pemberhentian untuk dekompresi di setiap perbandingan penurunan tekanan 2:1 berdasarkan hitungan matematis dari sifat gas di dalam tubuh. Tabel Haldane adalah pedoman dari tabel penahanan dekompresi saat ini. Pada penyelidikan berikutnya diketahui bahwa pada kedalaman yang lebih dalam ditemukan bahwa tabel tersebut tidak terlalu berguna. Meskipun demikian, tabel tersebut telah banyak menyelamatkan para penyelam.

Penyelidikan di tahun 1900 sudah banyak menghasilkan kemajuan bentuk peralatan selam, dan di tahun 1940 pemakaian peralatan selam semakin sering digunakan. Rancangan regulator pasokan udara dari tabung udara tekanan yang disertakan pada punggung penyelam oleh Cousteau dan Gagnan (1943) tidak banyak berubah sampai saat ini, kecuali beberapa modifikasi kecil. Peralatan selam sirkuit tertutup yang menggunakan campuran oksigen atau oksigen/nitrogen sebagai media pernapasan telah mengalami banyak perubahan sejak pertama kali digunakan oleh penyelam angkatan laut Italia selama Perang Gibraltar pada tahun 1941. Saat penyelaman berlangsung, masalah utama terhenti – sistem sirkuit menjadi sangat serius.

Menyelam hingga kedalaman lebih dari 100 meter tidak hanya membutuhkan peralatan selam khusus sirkuit tertutup atau semi tertutup, tetapi juga campuran gas *inert* dan oksigen atau gas lainnya. Karena efek anestesi yang kuat di tempat yang lebih dalam, penggunaan nitrogen telah digantikan oleh gas *inert* lainnya seperti helium dan hidrogen. Namun penggunaan kedua gas ini tetap akan menimbulkan komplikasi, karena pada prinsipnya semua jenis gas akan menimbulkan masalah fisiologis yang khas.

Sejauh ini, tidak ada campuran gas ideal yang ditemukan. Perkembangan selam saturasi telah membawa perubahan besar yang sangat menguntungkan, baik dari segi kemampuan untuk bekerja di kedalaman yang lebih dalam maupun lebih ekonomis itu sendiri. Prinsip sistem ini adalah menjenuhkan semua jaringan tubuh pada kedalaman tertentu melalui gas *inert*. Begitu kedalaman ini tercapai, tubuh tidak akan bisa lagi menyerap gas *inert* untuk waktu yang lama. Oleh karena itu, lamanya penyelaman tidak akan memperpanjang waktu dekompresi. Metode ini sekarang digunakan untuk hampir semua penyelaman panjang pada kedalaman lebih dari 100 meter.

Bab II

Pengenalan Peralatan Selam

Bab ini menjelaskan beberapa istilah dari berbagai alat selam yang akan banyak dijumpai pada pembicaraan selanjutnya. Peralatan tersebut dipergunakan oleh para penyelam yang menggunakan udara tekan sebagai media napas.

Kemajuan ilmu dan teknologi mendorong semakin berkembangnya penggunaan peralatan selam yang lebih khusus. Maka dalam bab ini akan dibahas tentang peralatan selam yang khusus tersebut.

A. *Self-Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA)*

SCUBA atau peralatan selam yang dibawa oleh para penyelam merupakan peralatan menyelam yang paling banyak dijual di pasaran saat ini. Alat ini dirancang untuk memberi para penyelam udara untuk dapat bernapas yang tekanannya sama dengan tekanan air di sekitarnya. Udara pernapasan dikompresi dalam silinder logam, yang biasanya dibawa di bagian belakang penyelam. Satu unit terdiri dari satu atau dua pemancar.

Bagian-bagian dari satu unit tunggal adalah:

1. Udara tekan di dalam silinder yang biasanya bertekanan antara 160-200 KG/CM² (2250-300 PSI).
2. Regulator pengurang tekanan yang memungkinkan udara mengalir dari silinder ke pipa pernapasan pada saat

penyaluran udara tersebut tekanan udara biasanya dikurangi hingga 6-7 KG/CM² di atas tekanan air di sekitar penyelam. Pada alat suplai permukaan atau alat Hookah biasanya terdapat alat pengurang tekanan yang tergantung pada kedalaman penyelaman.

3. Pipa yang bertekanan rendah yang menyalurkan udara ke regulator yang terdapat pada *mouth-piece*.
4. Katup pada regulator yang terbuka apabila penyelam menarik napas sehingga udara masuk ke dalam regulator yang selanjutnya mengalir ke mulut dan paru-paru dengan tekanan yang sama dengan tekanan air di sekitarnya. Penyesuaian tekanan lewat diafragma yang sederhana.
5. Udara napas yang diembuskan akan dikeluarkan ke dalam air lewat katup pengeluaran yang terdapat pada regulator.

Pada prinsipnya, *sluit* yang bersilinder ganda sama dengan unit tunggal, hanya saja *demand regulator* dan regulator pengurang tekanan dikombinasikan dalam satu bagian yang melekat pada silinder. Udara akan dialirkan ke mulut penyelam melalui pipa dan tekanan yang sama dengan tekanan air di sekitarnya. Udara napas yang dikeluarkan akan disalurkan lewat pipa pengeluaran ke regulator yang seterusnya akan dikeluarkan ke dalam air.

Variasi dari sistem ini adalah dengan mengalirkan udara tekan ke "*demand regulator*" langsung dari sumber udara tekan yang terletak di permukaan air. Dengan cara ini lama penyelaman dapat diperpanjang dan penyelam bebas dari beban membawa silinder udara pada punggungnya. Pipa penyalur udara juga berfungsi sebagai tali penyelamat. Alat selam ini disebut *Surface Supply Breathing Appartus* (SSBA) apabila udara berasal dari silinder udara bertekanan tinggi dan disebut Hookah jika berasal langsung dari kompresor.

Dalam penyelaman klasik (pakaian standar), juga disebut helm, udara mengalir melalui selang ke penyelam pada tekanan

yang sama dengan kedalaman air dan masuk ke helm. Udara akan terus mengalir ke penyelam dengan kecepatan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan oksigen penyelam dan mengeluarkan udara yang diembuskan.

B. Alat Selam Sirkuit Setengah Tertutup

Dalam penyelaman klasik (pakaian standar), juga disebut helm, udara mengalir melalui selang ke penyelam pada tekanan yang sama dengan kedalaman air dan masuk ke helm. Udara akan terus mengalir ke penyelam dengan kecepatan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan oksigen penyelam dan mengeluarkan udara yang diembuskan. Oleh karena udara napas yang dikeluarkan ke dalam air berkurang, suara dan gelembung udara di dalam air pun akan berkurang. Alat ini sering digunakan pada operasi militer seperti untuk menjinakan ranjau yang peka terhadap suara. Juga sering digunakan oleh ahli biologi laut dan fotografer agar mendapatkan suasana yang tenang untuk mengamati kehidupan ikan dan binatang laut lainnya. Sistem dan juga sistem sirkuit tertutup pada umumnya digunakan pada penyelaman dalam untuk mengurangi biaya penyelaman karena diperlukan cukup banyak gas pernapasan.

Dengan menggunakan gas campuran yang hanya mengandung sedikit gas lembam, waktu dekompresi juga dipersingkat. Dengan demikian penyerapan gas lembam oleh tubuh akan sangat jauh berkurang. Bagian- bagian yang penting dari sistem ini adalah:

1. Udara tekan silinder yang ukurannya relatif kecil. Silinder ini bisa berisi campuran gas yang sudah dicampur sebelumnya atau beberapa macam gas yang akan dicampur sesuai kebutuhan
2. Regulator pada silinder memungkinkan pengaliran gas pernapasan secara konstan ke dalam kantong pernapasan. Ada juga regulator yang kecepatan alirannya dapat diatur

- tergantung dari campuran gas pernapasan yang digunakan.
3. Katup "*by-pass*" dioperasikan secara manual untuk menambah gas pernapasan sesuai dengan kebutuhan penyelam. Dengan katup ini kemungkinan kolapsnya kantong sewaktu turun dapat dikurangi.
 4. Kanton pernapasan atau "*counterlung*" sebagai sumber udara napas dapat terdiri dari satu atau dua buah kantong tergantung dari kecepatan pernapasan penyelam. Ada dua macam sistem utama yang sering digunakan. Yang pertama adalah yang disebut "*Circuit Rebreathing*". Pada sistem ini udara napas yang dikeluarkan penyelam akan ditampung di dalam sebuah kantong pengumpul. Dari kantong ini gas tersebut dialirkan lewat penyerapan CO_2 . Setelah melalui penyerapan CO_2 , ditambahkan gas pernapasan yang segar untuk diisap oleh penyelam lewat pipa pengisapan tersendiri. Pada sistem "*pendulum rebreathing*" gas pernapasan yang diembuskan penyelam dialirkan lewat pipa pengeluaran ke dalam sebuah kantong pernapasan (*breathing bag*) lewat penyerapan CO_2 . Secara terus-menerus dialirkan pernapasan yang segar ke dalam kantong tersebut, dan gas campuran tersebut kembali diisap oleh penyelam lewat penyerap CO_2 dan lewat pipa yang sama. Dengan demikian pipa tersebut berfungsi sebagai pipa pemasukan dan pipa pengeluaran napas.

C. Peralatan Selam Sirkuit Tertutup

Dengan sistem ini tidak akan ada gas pernapasan amat ekonomis. Oleh karenanya, dan juga karena tak ada gas yang keluar ke dalam air, sistem ini sangat bermanfaat bagi operasi militer. Dahulu digunakan oksigen murni sebagai pernapasan pada sistem ini, tetapi kedalaman penyelaman terbatas hanya 10 meter. Prinsip "*circuit*" dan "*pendulum*" seperti pada alat selam sirkuit setengah tertutup juga digunakan pada sistem ini.

Sistem ini sekarang digunakan pada hampir semua kegiatan penyelaman dalam, yaitu penyelaman yang melebihi kedalaman 50 meter. Berbagai peralatan elektronik modern telah ditambahkan pada sistem ini, misalnya "*electrolung*" guna mendapatkan kecepatan pengaliran gas pernapasan yang tetap. Juga ditambahkan sensor oksigen yang secara elektronik akan mempertahankan kadar oksigen yang telah ditentukan sebelumnya di dalam gas pernapasan. Akan tetapi, alat demikian cukup mahal harganya dan juga perawatannya agak sulit karena komponen elektroniknya sering sekali rusak kecuali bila dipelihara oleh seorang yang benar-benar ahli.

Ada beberapa bahaya yang khas dari pemakaian alat selam sirkuit tertutup dan setengah tertutup, sehingga alat ini hanya boleh digunakan oleh orang yang terlatih seperti penyelam militer dan penyelam profesional. Cukup banyak kasus kematian yang disebabkan penggunaan alat-alat tersebut. Penyebab tersering adalah karena kesalahan penyelam sendiri, dan kurang memahami cara kerja dari alat yang digunakannya. Pada lingkungan laut yang buruk peralatan elektronik sering mengalami kemacetan.

Pada sistem penyelaman dalam yang modern dilakukan modifikasi dari sistem tersebut, yaitu gas pernapasan dialirkan pada penyelam melalui pipa panjang yang fleksibel. Sumber udara napas berada di permukaan atau pada "lonceng penyelam" yang berada dekat penyelam. Dengan sistem ini juga digunakan pada penyelaman saturasi dan kadang-kadang juga digunakan untuk pengambilan fotografi di bawah air.

Bab III

Fisika Penyelaman (*Physics of Diving*)

Pengetahuan terapan hukum-hukum ekamatra yang berafiliasi menggunakan penyelaman adalah prasyarat penting bagi teknik penyelaman yang *safety*. polidilema kesehatan penyelaman yang secara eksklusif diakibatkan sang imbas atau efek fisiologis asal aturan-aturan tersebut terhadap manusia.

Suatu ikhtisar dari hukum-hukum fisika yang penting berkenaan dengan kegunaan pengobatan secara klinis, perlu diketahui untuk menjamin pengertian selanjutnya.

A. Satuan Tekanan

Tekanan udara di permukaan laut adalah 0° C. Pada dasarnya tekanan itu adalah tekanan yang disebabkan oleh berat atmosfer di atasnya. Tekanan ini konstan yaitu sekitar 760 mmHg (14.7 psi) dan dijadikan dasar ukuran satu atmosfer. Tekanan menurun pada ketinggian karena atmosfer di atasnya berkurang sehingga berat udara pun berkurang. Demikian pula tekanan akan meningkat bila seseorang menyelam di bawah permukaan air. Ini disebabkan karena berat dari atmosfer dan berat dari air di atas si penyelam.

Ukuran-ukuran tekanan dari pelbagai kedalaman mengungkapkan bahwa tekanan 760 mmHg (yaitu sama dengan *Widespread Atmospheric Strain*) akan terasa pengaruhnya kira-kira pada kedalaman 10 meter dari air laut (33 kaki).

Hukum Pascal menyatakan bahwa tekanan yang terdapat di permukaan cairan akan menyebar ke seluruh arah secara merata dan tidak berkurang. Pada setiap tempat di bawah permukaan laut, tekanan akan meningkat sebesar 760 mmHg (atau 1 atmosfer) untuk setiap kedalaman 10 meter.

Tekanan yang terdapat pada suatu titik menunjukkan tekanan 1 atmosfer (tekanan di permukaan) + tekanan yang disebabkan oleh kedalaman air laut.

Satuan-satuan dari jumlah tekanan adalah Atmosfer Absolut (ATA) yaitu:

Tabel 1. Satuan Jumlah Tekanan Bawah Air dalam Atmosfer Absolut

Kedalaman (Depth)	Tekanan absolut	(<i>Gauge Pressure</i>)
Di permukaan	1 ATA	0 ATG
10 Meter	2 ATA	1 ATG
20 Meter	3 ATA	2 ATG
30 Meter	4 ATA	3 ATG

Ukuran tekanan (*gauge strain*) menunjukkan tekanan yang terlihat pada pesawat pengukur yaitu terbaca 0 pada tingkat permukaan. Karenanya, tekanan ini selalu 1 atmosfer lebih rendah daripada tekanan absolut.

B. Hukum-hukum Gas

Udara atmosfer yang kita hirup mengandung komponen-komponen berikut:

1. 78% Nitrogen (N_2)
2. 21% Oksigen (O_2)
3. 0.93 Argon (Ar)
4. 0,04% *Carbon dioxide* (CO_2)
5. Gas-gas mulia (Ne. He. dsb)

Gas yang umumnya digunakan untuk tujuan penyelaman adalah:

1. Udara (bebas kotoran)
2. Campuran Oksigen (O_2)
3. Campuran O_2 dan Helium (He), kadang-kadang + N_2

Hukum-hukum gas yang berlaku terhadap *gasoline-gas* di dalam rongga tubuh seperti paru-paru, saluran yang menghubungkan hidung dengan sinus, dll, serta gas-gas di dalam larutan adalah hukum Boyle, Dalton, Henry, dan Hukum Charles.

1. Hukum Boyle, Perubahan Tekanan dan Volume

Hukum ini menegaskan hubungan antara tekanan dan volume dari suatu kumpulan gas akan berbanding terbalik dengan tekanan absolut yaitu $V = 1/p$

Jadi: $PV = K$ atau $P_1 V_1 = P_2 V_2$

Di mana P = Tekanan

V = Volume

K = Konstan

Hal ini menunjukkan bahwa bilamana tekanan meningkat, *extent* dari suatu kumpulan gas akan berkurang dan sebaliknya. Selama tekanan sebanding dengan kedalaman, maka volume juga tergantung pada kedalaman. Bila tekanan menjadi 2 kali lebih besar, *quantity* akan menjadi setengah *quantity* semula. Hubungan ini berlaku terhadap semua gas gasolin di dalam ruangan-ruangan tubuh sewaktu penyelaman masuk ke dalam air maupun naik ke permukaan.

2. Hukum Boyle pada Penyelaman Tahan Napas

Seorang penyelam yang menghirup napas penuh di permukaan akan merasakan paru-parunya semakin lama semakin tertekan oleh air di sekelilingnya sewaktu ia turun.

Contoh: Bila seorang penyelam SCUBA menghirup napas penuh (6 liter) pada 10 meter (2ATA), menahan napasnya lalu naik ke permukaan (1 ATA), udara di dalam dadanya akan melipat gandakan volume menjadi 12 liter. Ia harus mengembuskan 6 liter selagi naik untuk menghindari agar paru-parunya jangan meledak.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad P_1 = 2 \text{ ATA}$$

$$V_1 = 6 \text{ liter}$$

$$P_2 = 1 \text{ ATA}$$

$$V_2 = ?$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{2 \times 6}{1} = 12 \text{ Liter}$$

Yaitu 6 liter dihirup pada 10 meter sekarang menjadi 12 liter.

Semua gas yang berada di dalam rongga tubuh akan terpengaruh oleh hubungan tekanan volume ini. Dalam hal mengenai telinga bagian tengah, tekanan air yang berperan di dalam tubuh akan diantarkan oleh cairan-cairan tubuh ke rongga udara di dalam telinga bagian tengah. Selama tekanan meningkat volume akan berkurang. Karena telinga bagian tengah ada di dalam rongga tulang yang kaku, rongga yang sebelumnya terisi oleh udara akan diisi oleh jaringan-jaringan yang membengkak, berdarah, dan menonjol ke dalam gendang telinga. Rangkaian kejadian yang menjurus ke kerusakan jaringan dapat dicegah dengan menyeimbangkan telinga. Udara ditiupkan ke dalam saluran *Eustachius* dari tenggorokan untuk menjaga agar *extent gasoline* yang ada di telinga bagian tengah tetap konstan, sehingga tekanannya menyamai tekanan air. Proses serupa dapat terjadi di dalam rongga-rongga sinus. Akan tetapi di sini dapat diseimbangkan sendiri (*self equalising*) dalam keadaan normal karena rongga sinus punya hubungan terbuka dengan rongga hidung.

Perubahan terbesar volume gas yang mengikuti perubahan-perubahan air terjadi dekat permukaan. Sebagai contoh, 1 liter gas di permukaan akan menyusut sampai $\frac{1}{2}$ liter pada 10 meter (1 ATA sampai 2 ATA). Dari 4 ATA sampai 5 ATA, hanya akan kembali sebesar 5% yaitu, dari $\frac{1}{4}$ sampai $\frac{1}{5}$ liter. Ini menerangkan kenapa tidak mungkin menghindari risiko-risiko pada penyelaman dangkal.

3. Hukum Dalton, Tekanan Parsial dari Campuran Gas

Hukum ini berhubungan dengan udara (suatu campuran nitrogen dan oksigen) dan dengan pernapasan gas campuran. Dinyatakan bahwa jumlah tekanan dari suatu campuran gas adalah jumlah dari tekanan parsial dari gas yang membentuk campuran tersebut. Jika gas itu meningkat secara menyeluruh, tekanan parsial dari tiap-tiap gas pun akan meningkat.

Karena udara adalah suatu campuran yang terdiri dari kurang lebih 80% N_2 dan 20% O_2 , udara di permukaan terdiri dari:

$$N_2 = 80\% \text{ dari } 1 \text{ ATA (760 mmHg)} = 0,8 \text{ ATA (608 mmHg)}$$

$$O_2 = 20\% \text{ dari } 1 \text{ ATA (760 mmHg)} = 0,2 \text{ ATA (15 mmHg)}$$

Tekanan parsial dari suatu gas di dalam campuran diperoleh dengan mengalikan persentase gas dengan tekanan total. Dengan kedalaman, peningkatan tekanan parsial yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\text{Permukaan} = (1 \text{ ATA}) = 0,8 \text{ ATA } N_2 + 0,2 \text{ ATA } O_2 \text{ (PP } O_2 = 20\% \times 1 \text{ ATA)}$$

$$10\text{-meter} = (2 \text{ ATA}) = 1,6 \text{ ATA } N_2 + 0,4 \text{ ATA } O_2 \text{ (PP } O_2 = 20\% \times 2 \text{ ATA)}$$

$$30\text{-meter} = (3 \text{ ATA}) = 3,2 \text{ ATA } N_2 + 0,8 \text{ ATA } O_2 \text{ (PP } O_2 = 20\% \times 4 \text{ ATA)}$$

$$40\text{-meter} = (5 \text{ ATA}) = 4,0 \text{ ATA } N_2 + 1,0 \text{ ATA } O_2 \text{ (PP } O_2 = 20\% \times 5 \text{ ATA)}$$

Dari nilai tersebut di atas terlihat bahwa pada kedalaman 40 meter (tekanan 5 ATA), penyelam yang bernapas dengan udara biasa akan menghirup oksigen dengan tekanan parsial yang sama (1,0 ATA) seperti bila ia sedang menghirup 100% O₂ di permukaan air.

Hukum ini penting untuk mengetahui efek toksik pernapasan pada kedalaman, penyakit dekompresi, dan penggunaan oksigen maupun campuran-campuran gas untuk tujuan pengobatan. Sebagai contoh, seorang penyelam yang menghirup suatu campuran 60%/40% oksigen dan nitrogen risikonya menderita keracunan oksigen terjadi pada kedalaman sekitar 30 meter (4 ATA).

Tekanan parsial oksigen (PO₂) $60/100 \times 4 \text{ ATA} = 2,4 \text{ ATA}$ (Toksik)

Tekanan parsial nitrogen (PN₂) $40/100 \times 4 = 1,6 \text{ ATA}$

Jumlah tekanan $2,4 + 1,6 = 4 \text{ ATA}$

4. Hukum Henry, Larutan Gas dan Cairan

Dinyatakan bahwa pada suhu tertentu jumlah gas terlarut di dalam suatu cairan berbanding lurus dengan tekanan parsial dari gas tersebut di atas cairan. Di permukaan laut (1 ATA) dalam tubuh manusia terdapat kira-kira 1 liter larutan nitrogen. Bila seorang penyelam turun sampai kedalaman 10 meter (2 ATA) tekanan parsial dari nitrogen yang dihirup menjadi 2 kali lipat dan akhirnya nitrogen yang terlarut dalam jaringan juga akan dua kali lipat (liter). Waktu hingga terjadi keseimbangan tergantung pada daya larut gas di dalam jaringan dan kecepatan suplai gas ke jaringan oleh darah.

Pengaruh fisiologis dari hukum ini terhadap seorang penyelam berlaku untuk penyakit dekompresi, keracunan gas, dan pembiusan gasolin lembam (*inert gasoline narcosis*). Bilamana tekanan yang terdapat dalam larutan terlalu cepat berkurang,

gasolin keluar dari larutan dalam bentuk gelembung-gelembung gasolin. Pada penyelam, pelepasan gelembung-gelembung ini dapat menyumbat pembuluh darah dan merusak jaringan-jaringan yang menyebabkan pelbagai pengaruh dari penyakit dekompresi atau "bends". Penyelam dapat melihat pengaruh yang sama pada karbon dioksida di dalam larutan. Bila ia membuka botol bir dengan tiba-tiba, akan terlihat gelembung-gelembung gas yang naik ke permukaan botol.

5. Hukum Charles, Perubahan Suhu dan Volume

Hukum ini menyangkut hubungan antara suhu, volume, dan tekanan. Dinyatakan bahwa bila tekanan tetap konstan, volume dari sejumlah gas tertentu adalah berbanding lurus dengan suhu absolut.

Hukum ini ada hubungannya dengan kompresi dan dekompresi dari gas-gas dan pengaruhnya terhadap silinder, regulator, *chamber*, dll. Serta menerangkan bahwa perubahan tekanan dapat dilihat bilamana silinder yang berisi udara tekanan terjemur di matahari.

Bila volume tetap konstan dan suhu meningkat, tekanan akan meningkat. Seseorang yang secara tidak sengaja melubangi suatu tabung semprot (*spray can*) dan melihatnya menghilang di udara, seperti sisa api di halaman terkena hujan, akan dapat melihat contoh yang baik sekali dari hukum ini. Hubungannya dengan tabung-tabung gas penyelam dapat dengan mudah dimengerti.

C. Daya Apung (*Buoyancy*)

Hukum Archimedes menerangkan bahwa setiap benda yang dibenamkan seluruhnya atau sebagian ke dalam cairan dapat mengapung yang disebabkan oleh suatu tenaga seberat bobot cairan yang digantikan oleh benda tersebut. Semakin padat cairan itu semakin besar daya apungnya. Dengan demikian penyelam-penyelam

dan kapal-kapal mengapung lebih tinggi di air laut daripada di air tawar.

Dengan paru-paru mengembang sepenuhnya, orang biasanya akan mengambang di atas permukaan air laut yaitu ia mempunyai daya apung positif. Apakah seorang penyelam dapat mengapung secara positif atau negatif menentukan ciri-ciri dari seorang penyelam.

1. Upaya yang diperlukan untuk penyelaman. Daya apung positif memberi kesulitan pada saat turun tetapi membantu sewaktu naik. Ini berlaku juga sebaliknya.
2. Kemungkinan hilangnya orientasi di bawah air. Bilamana perasaan posisi seorang penyelam sudah terganggu, seperti halnya pada daya apung netral (*Neutral Buoyancy*) yaitu tidak tenggelam maupun mengambang. Pengurangan lebih lanjut pada tiap rangsangan pancaindra (*sensory stimulation*) seperti berkurangnya penglihatan di dalam air yang suram, dapat mengakibatkan disorientasi yang parah dengan kemungkinan akibat-akibat yang berbahaya.

Tingkat daya apung seorang penyelam dipengaruhi oleh beberapa faktor. Beratnya alat-alat yang dipakai oleh si penyelam dapat menyebabkan ia tenggelam. Silinder berisi udara tekan akan menjadi lebih terapung bila udara dipindahkan hingga menjadikannya lebih ringan.

Pakaian selam (*wetsuit*) terdiri dari sel-sel karet busa berisikan udara. Bila kedalaman bertambah. volume udara di dalam sel-sel tersebut berkurang. Dengan demikian mengurangi daya apung. Rompi-rompi yang dapat mengembang (*Buoyancy compensators*) dapat membuatnya mengapung. Bila ia mengembuskan napas, ia akan cenderung tenggelam. Penyelam-penyelam sering mengembuskan napasnya selagi mereka meninggalkan permukaan untuk memanfaatkan pengaruh tersebut dan membantunya untuk turun.

D. Suhu (Temperatur)

Suhu air di sekelilingnya menentukan kenyamanan penyelam dan lamanya penyelaman secara maksimal. Hampir semua perairan lebih dingin daripada suhu badan yang normal (37° C atau 98° F) dan karena itu seorang penyelam akan kehilangan panas terhadap air karena konduksi. Lapisan-lapisan isolasi dari lemak atau baju selam cenderung mengurangi pengaruh-pengaruh ini.

Pada penyelaman saturasi, pemeliharaan suhu badan seorang penyelam menjadi suatu kebutuhan utama. Suhu air makin mengurang secara nyata bersamaan dengan bertambahnya kedalaman. Perubahan suhu terbesar terjadi sesudah 10 meter pertama disebabkan oleh karena hilangnya sebagian besar panas matahari pada kedalaman yang lebih dalam. Air dingin dapat menyebabkan gangguan-gangguan fisiologis yang gawat seperti pusing (*vertigo*) dan sakit kepala dalam keadaan-keadaan tertentu. Berbagai manifestasinya akan dibahas di dalam bab berikutnya.

E. Penglihatan dan cahaya

Penglihatan tanpa bantuan (*unaided*) di bawah air akan buruk yang diakibatkan oleh perbedaan-perbedaan dalam pembiasan sinar di bawah air. Masalah ini sebagian dapat diatasi dengan memakai suatu topeng muka (*face mask*) yaitu terdapat suatu lapisan udara antara mata kita dengan air. Pemakaian suatu topeng muka, meskipun memperbaiki penglihatan di bawah air dapat menyebabkan suatu kesan yang palsu akan jarak, menjadikan benda-benda terlihat kurang lebih tiga perempat jauhnya daripada jarak yang sebenarnya dari mata kita. Ini menerangkan kenapa penyelam-penyelam yang daya penglihatannya kurang di bawah air merasa penglihatan mereka sedikit meningkat. Oleh karena benda-benda kelihatannya lebih dekat, mereka juga tampak lebih besar daripada yang sebenarnya.

Lensa-lensa yang dapat memperbaiki penglihatan (*corrective lenses*) dapat dipasang pada suatu topeng muka/kedok untuk mereka yang memakai kacamata di atas permukaan. Pemakaian lensa kontak (*contact lenses*) di bawah air telah berhasil baik untuk digunakan pada *face mask* maupun pada pemakaian langsung. Bilamana dipakai untuk hal yang disebut belakangan digunakan sedikit ruangan udara antara lensa dan air atau suatu bahan lensa yang dapat membelokkan cahaya.

Ketajaman penglihatan di bawah air adalah rendah. Ini disebabkan oleh penyebaran cahaya yang membentuk bayang dari benda halus yang mengambang di dalam air dan karena penyerapan cahaya oleh air. Ini membuat penentuan penerangan amat sukar. Apabila kontras berkurang, penglihatan akan mengganggu. Kejernihan air, cuaca yang terang, dan cahaya buatan akan membantu penanggulangan masalah ini. Di bawah air, warna-warna tidak akan tampak sama seperti di permukaan. Ini disebabkan penyerapan terhadap panjang gelombang tiap warna yang tidak sama besar.

Pada kedalaman, sinar matahari yang merupakan kombinasi warna-warna merah, oranye, kuning, biru, hijau, indigo, ungu akan lebih terlihat sebagai warna biru tua. Benda-benda akan terlihat mempunyai warna karena menyerap lebih banyak beberapa warna daripada warna lainnya. Warna-warna yang tidak diserap akan dipantulkan sehingga warna tersebutlah yang terlihat. Benda-benda yang di permukaan berwarna merah (karena warna merah paling sedikit diserap), di bawah air sering terlihat berwarna hitam karena warna merah akan diserap oleh air.

F. Suara

Suara di bawah air sangat dipengaruhi oleh pengantarannya melalui media cairan. Kecepatan suara di bawah air kira-kira empat kali lebih cepat daripada di udara. Suara di udara akan cepat kehilangan energinya bila dipancarkan ke dalam air. Dengan demikian

di dalam air akan sukar untuk mendengar suara yang dibuat di udara dekat permukaan air.

Pendengaran seseorang di bawah air akan berkurang akibat pengaruh air terhadap gendang telinga, dan beberapa frekuensi suara lebih terpengaruh daripada lainnya. Pemakaian tutup kepala akan lebih mengurangi ambang pendengaran. Sangatlah sukar bagi penyelam untuk melokalisasi arah suara di dalam air.

Telinga manusia telah diciptakan untuk melokalisasi arah suara di udara. Mekanisme ini akan terganggu karena suara berjalan empat kali lebih cepat di dalam air. Lokalisasi suara lebih dipersulit lagi karena di bawah air suara akan diantarkan ke organ pendengaran lebih baik melalui tulang kepala daripada melalui gendang telinga.

Bab IV

Ilmu Faal (Fisiologi)

A. Pernapasan

Bernapas itu perlu sekali supaya dapat menyuplai darah ke semua jaringan tubuh dengan oksigen (O_2) dan untuk mengeluarkan karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan oleh jaringan dari darah melalui paru-paru. Udara masuk ke paru-paru melalui suatu sistem berupa pipa yang makin menyempit (*bronchi* dan *bronchioles*) yang bercabang di kedua belah sisi paru-paru dari saluran udara utama (*trachea*). Pipa ini berakhir di gelembung-gelembung paru-paru (*alveoli*) yang merupakan kantong-kantong udara terakhir dari dalam yaitu oksigen dipindahkan ke karbon dioksida dari tempat darah mengalir. Ada lebih dari 300 juta kantong-kantong serupa di dalam paru-paru seseorang. Ruang-ruang udara ini dipelihara dalam keadaan terbuka oleh bahan-bahan kimia semacam deterjen yang dapat menetralkan kecenderungan *alveoli* untuk mengempis.

Permukaan bagian luar paru-paru ditutup oleh selaput (*pleura*) yang licin dan selaput serupa membatasi permukaan bagian dari dinding dada. Kedua selaput ini terletak berdekatan sekali dan dipisahkan oleh suatu lapisan cairan yang tipis. Karena mereka dapat dipisahkan, terdapat suatu ruangan di antara selaput-selaput yang dinamakan ruang antar-rongga selaput dada (*intra pleural space*).

Waktu menarik napas (inspirasi) dinding dada secara aktif tertarik keluar oleh pengerutan otot-otot dinding dada dan sekat rongga dada (diafragma) tertarik ke bawah. Berkurangnya tekanan di dalam menyebabkan udara mengalir ke dalam paru-paru. Dengan upaya yang maksimal pengurangan tekanan ini dapat mencapai 60-100 mmHg di bawah tekanan atmosfer.

Embusan napas ke luar (ekspirasi) disebabkan karena mengerutnya paru-paru dan dinding dada yang mengikuti pengembangan. Tekanan yang meningkat di dalam dada memaksa gas-gas keluar dari paru-paru. Ini terutama terjadi tanpa upaya otot tetapi dapat dibantu oleh embusan napas yang kuat. Pengukuran fungsi pernapasan ada banyak dan bermacam-macam, tetapi hanya beberapa hal yang penting saja yang ada hubungannya dengan penyelam-penyelam yang akan diterangkan.

1. Kapasitas Total Paru-Paru = *total lung capacity* (TLC), yaitu jumlah volume gas yang dapat ditampung oleh kedua paru-paru bila terisi penuh. Ini biasanya kurang lebih 5-6 liter.
2. Kapasitas Vital = *Vital capacity* (VC), yaitu volume gas maksimal yang dapat diembuskan ke luar setelah dihirup secara maksimal. Ini biasanya kurang lebih 4-5 liter. Kadang-kadang juga disebut daya tampung vital yang dipaksa = *Forced Vital Capacity* (FVC).
3. Volume Sisa = *Residual Volume* (RV), yaitu jumlah gas yang tertinggal di dalam paru-paru setelah diembuskan secara maksimal. Ini biasanya kurang lebih 1,5-liter dan dapat dihitung sebagai berikut: $TLC - VC = RV$. Perhatikan bahwa RV adalah kurang lebih 25% dari TLC.
4. Tidal Volume (TV) yaitu volume gas yang bergerak masuk dan keluar dari paru-paru selagi suatu putaran pernapasan sedang istirahat secara normal. Ini biasanya kurang lebih 0,5 liter.

5. Volume Pernapasan Semenit = *Respiratory Minute Volume* (RMV) adalah jumlah gas yang bergerak masuk dan keluar dari paru-paru dalam satu menit yaitu, $TV \times \text{frekuensi pernapasan} = RMV$. Ini biasanya kurang lebih 6 liter per menit dalam keadaan istirahat (5×12) tetapi dapat melebihi 100 liter dengan latihan berat (RMV kadang-kadang dinamakan ventilasi paru = *Pulmonary ventilation*).
6. Kapasitas Vital Sewaktu (*timed vital capacity*) adalah bagian dari *Vital Capacity* (VC) yang dapat diembuskan dalam waktu tertentu biasanya satu detik. Ini sering dinamakan volume ekspirasi yang dipaksakan (atau FEV1). Pada orang dewasa yang sehat ini harus melebihi 75% dari FVC, tetapi biasanya berkurang pada penyakit-penyakit seperti *asthma*, *bronchitis*, *emphysema*, dan lain-lain, Gerakan udara melalui saluran-saluran udara melemah karena menyempitnya saluran udara atau kekenyalan dari paru-paru yang mengurangi disebabkan oleh pengerasan, goresan, dll. Ukuran penting ini diteliti dengan cermat selama suatu pemeriksaan penyelaman secara medis. Itu membantu untuk menemukan beberapa penyakit yang disebut di atas, dan membantu untuk menghindari mereka yang akan menjadi cenderung terkena penyakit *Pulmonary barotrauma* (*burst lung*) atau *Pulmonary ventilation*.

Parameter-parameter mekanis ini penting untuk memahami fisiologi pernapasan karena akan dapat memungkinkan ramalan tentang:

1. Risiko barotrauma paru waktu naik.
2. Kecepatan penyediaan udara tekan akan terpakai.
3. Kedalaman maksimal untuk penggunaan pipa udara (*snorkel*) yang aman.
4. Terjadinya kelelahan napas dikarenakan alat-alat pernapasan dari peralatan penyelaman yang kurang lengkap dan kurang berdaya guna.

5. Terjadinya kekurangan oksigen (*hypoxia*) dikarenakan ventilasi paru-paru yang tak cukup dan banyak hal-hal lain.

Alveoli paru-paru (atau kantong udara) adalah kantong kecil dan tipis yang melekat erat dengan lapisan pembuluh-pembuluh darah halus (kapiler) yang membawa darah yang bebas oksigen (*deoxy-genated*) dari jantung. Molekul oksigen (O_2) dapat disaring melalui dinding pembuluh darah tersebut untuk masuk ke aliran darah. Sama halnya dengan karbon dioksida yang dilepaskan dari aliran darah ke dalam kantong udara untuk dikeluarkan melalui pernapasan menentukan jumlah oksigen yang masuk ke dalam darah dan jumlah karbon dioksida yang dikeluarkan dari darah.

Gas cenderung untuk berdifusi dari daerah dengan tekanan parsial tinggi ke daerah lain karena tekanan parsialnya lebih rendah yaitu dikarenakan selisih tekanan (*pressure gradient*), selisih tekanan oksigen dari alveoli ke aliran darah dan sebaliknya. Selisih tekanan *carbon dioxide* dari saluran darah ke alveoli menentukan pertukaran gas tersebut di dalam paru-paru. Keseimbangan terjadi dengan masuknya oksigen ke aliran darah dari paru-paru dan dengan dikeluarkannya *carbon dioxide* dari aliran darah masuk paru-paru.

Selisih tekanan yang sama terdapat pada tingkatan jaringan darah ketika *carbon dioxide* dilepas oleh jaringan masuk ke aliran darah dan oksigen berdifusi ke dalam jaringan-jaringan. Ini terjadi pada setiap pernapasan dan putaran peredaran darah. Pertukaran gas terjadi karena difusi dan ini ditentukan sampai tingkat tertentu di udara oleh berat jenis gas bersangkutan. Di alveoli paru-paru, oksigen berdifusi lebih cepat daripada *carbon dioxide* karena berat jenisnya lebih rendah.

Difusi gas di dalam jaringan tubuh sangat dipengaruhi oleh daya larutnya di dalam cairan-cairan jaringan dan darah. Karena *carbon dioxide* kurang lebih 24 kali, lebih mudah larut di dalam darah dibanding oksigen – keseluruhan kecepatan oksigen kurang lebih 20

kali lipat. Difusi gas dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kelainan pada dinding alveoli (*alveolar walls*) yang mungkin dapat mengurangi difusi, peredaran pembuluh darah halus (*capillary*) yang tak sempurna mengurangi suplai darah ke alveoli, atau mengecilnya alveoli yang selanjutnya mengurangi daerah pemindahan gas. Salah satu dari semua ini dapat menyebabkan kurangnya oksigen dalam darah atau berkurangnya pengeluaran *carbon dioxide* dari darah. Jadi, *Hypoxia* (kekurangan O_2) atau *hypercapnia* (kelebihan CO_2) dapat terjadi. Masalah ini akan dibahas di dalam bab-bab berikutnya.

B. Peredaran Darah

Peredaran atau suplai darah memberikan pada jaringan-jaringan tubuh. Darah beroksigen dari paru-paru dan mengeluarkan sisa dari jaringan (CO_2) ke paru-paru untuk dikeluarkan. Sistemnya terdiri dari suatu pompa sentral (jantung) dari mana darah vena yang tidak beroksigen dipompa ke paru-paru.

Darah dibawa dari jantung ke jaringan melalui suatu saluran seperti pipa yang disebut arteri. Arteri ini akan bercabang-cabang dan menjadi lebih kecil (*arteriola*) kemudian di jaringan dan paru-paru menjadi pembuluh-pembuluh yang halus (*kapiler*).

Pertukaran di paru-paru dan jaringan terjadi melalui kapiler ini. Kapiler-kapiler meninggalkan jaringan membawa darah yang bebas oksigen dan masuk ke pembuluh-pembuluh darah balik yang lebih besar yang disebut vena. Vena-vena membawa darah kembali ke jantung. Istilah pada sirkulasi darah di paru-paru berbeda dengan di jaringan lain karena di sini arteri paru-paru membawa darah yang bebas oksigen sedangkan vena paru membawa darah yang mengandung oksigen dari paru-paru ke jantung.

Arteri membawa darah pada tekanan tertentu dan memiliki dinding otot yang tebal. Dinding vena cenderung menipis dan tidak elastis karena tekanan darah di dalamnya rendah. Dinding-dinding

kapiler terdiri dari hanya satu lapisan tunggal dari sel-sel untuk mempermudah difusi gas.

Jantung merupakan satu unit yang terbagi dalam dua bilik (ventrikel) dan dua serambi (atrium). Katup-katup (*valves*) menjaga agar darah tidak mengalir balik ke dalam atrium bila ventrikel mengerut. Setiap sisi jantung bebas dari yang lainnya tetapi masing-masing mengerut secara bersamaan pada setiap putaran. Kecepatan mengerutnya jantung atau denyut nadi berbeda pada tiap-tiap orang tetapi rata-rata kecepatan normal adalah:

- Istirahat : 60-80 per menit
- Kerja : 80-150 per menit

Pada umumnya di dalam tubuh terdapat kurang lebih 6 liter darah terdiri yang dari cairan-cairan serum, zat-zat pembekuan darah (plasma), sel-sel darah merah yang O_2 dan CO_2 dan sel-sel darah putih yang berguna untuk melawan infeksi. Volume darah biasanya konstan selama hidup, tetapi kecepatan peredaran sangat berbeda tergantung pada kebutuhan oksigen oleh jaringan. Oleh karena itu, pada waktu kerja denyut nadi atau denyut jantung meningkat agar dapat menyuplai lebih banyak darah dan dengan demikian lebih banyak oksigen ke dalam jaringan-jaringan. Pada saat yang sama lebih banyak karbon dioksida dikeluarkan dari jaringan-jaringan. Pengisian jantung juga meningkat sebelum setiap siklus dengan demikian meningkatkan pengadaan darah.

Jantung mampu memompa kurang lebih 4-5 liter darah per menit pada waktu istirahat dan bisa mencapai 20 liter pada waktu latihan. Tekanan darah dan volume darah harus tetap berada pada batas tertentu agar jaringan-jaringan tidak kekurangan oksigen atau untuk mencegah pecahnya arteri.

Tekanan darah tergantung pada kecepatan dan kekuatan pengerutan jantung dan juga pada daya tahan arteri terhadap aliran darah. Faktor-faktor ini ada di bawah pengawasan susunan saraf

yang pada gilirannya dipengaruhi oleh alat-alat tubuh yang peka terhadap tekanan. Tekanan darah saat istirahat yang normal adalah 120-140 mmHg selagi jantung mengerut (sistolik) dan 70-80 mmHg sewaktu di antara denyutan jantung (diastolik). Kedua tekanan biasanya diukur pada saat yang sama dan tertulis sistolik/diastolik yaitu 120/70. Bila tekanan darah turun, peredaran darah ke jaringan tidak cukup hingga menyebabkan kekurangan oksigen. Ada beberapa cara ini bisa terjadi, yaitu ketika berdiri terlalu lama menyebabkan darah berkelompok di kaki sehingga pengaliran darah kembali ke jantung menjadi lemah dan mengakibatkan turunnya tekanan darah.

Peredaran yang terlalu banyak akan mengurangi volume darah, dengan demikian dapat menurunkan tekanan darah. Penurunan sirkulasi darah yang hebat disebut "*shock*". Bila *shock* ini tidak diatasi dapat mengakibatkan kematian karena kekurangan suplai darah yang membawa oksigen ke jaringan yang sangat diperlukan seperti otak. *Shock* sering diatasi dengan jalan memberikan cairan-cairan melalui pembuluh darah (intravena) untuk meningkatkan volume darah dan menaikkan tekanan darah.

C. Pengangkutan Gas ke Jaringan-Jaringan dan Paru-Paru

Oleh karena parsial dari oksigen yang relatif rendah pada tekanan atmosfer (1 ATA), hanya sedikit oksigen yang terbawa di dalam darah yang terlarut secara fisik. Hanya 0,3 ml oksigen terlarut di dalam 100 ml darah selama menghirup udara pada 1 ATA (yaitu, bila tekanan parsial dari oksigen 0,2 ATA atau 152 mmHg).

Jumlah seluruh keperluan jaringan pada tubuh kita adalah kurang lebih 6,8 ml oksigen per 100 ml darah (250 ml O₂ per menit) dan meskipun sejumlah kecil oksigen tambahan dibawa dalam cairan dari sel-sel darah merah (0,01 ml/100 ml), sebagian oksigen disuplai ke jaringan-jaringan dibawa dalam kombinasi dengan suatu protein yang terdapat di dalam sel-sel darah merah, yaitu hemoglobin (Hb).

Kombinasi ini menyuplai kurang lebih 6,49 ml O₂ per 100 ml darah. Haemoglobin memiliki daya ikat yang besar terhadap oksigen dan menjadi 98% jenuh dengan oksigen pada 1 ATA di dalam gelembung paru-paru (alveoli). Ini meningkat sampai 100% bila menghirup atmosfer yang sudah diperkaya dengan 30% oksigen atau lebih.

Selama tekanan parsial dari oksigen di dalam jaringan-jaringan sekitar 40 mmHg, oksigen dilepaskan dari sel-sel darah merah ke jaringan-jaringan. Akan tetapi tidak semua hemoglobin melepaskan oksigen karena kurang lebih 75% Hb tetap jenuh dan masuk ke dalam vena untuk kembali ke jantung. Hubungan antara tekanan parsial oksigen dengan kejenuhan hemoglobin terbentuk seperti "S" dan garis lengkung (gambar 4.4).

Hemoglobin mengeluarkan lebih banyak oksigen pada tekanan oksigen yang rendah dan dengan demikian membantu jaringan yang kekurangan oksigen.

Karena kadar Hb yang normal di dalam darah 15 g/100 ml, 100 ml darah yang jenuh akan menampung $15 \times 1.34 = 20.1$ ml oksigen. Ini akan terjadi bila seseorang menghirup 100% oksigen. Jumlah oksigen yang dibawa oleh hemoglobin sewaktu menghirup udara biasa (98% jenuh dengan Hb) adalah kurang lebih 19,3 ml perdarah.

Darah arteri membawa sejumlah hampir 20 ml oksigen per 100 Hm darah (0,3 ml dalam larutan + 19,3 ml terikat Hb). Dalam darah vena dalam keadaan istirahat, kejenuhan Hb adalah 75% dan karenanya jumlah oksigen terkandung adalah kira-kira 15 mi per 100 ml darah. Dengan demikian pada saat istirahat, jaringan-jaringan memindahkan kurang lebih 5 ml oksigen per 100 ml darah. Jumlah ini meningkat bila melakukan kegiatan.

Transportasi karbon dioksida merupakan akibat langsung dari daya larutnya di dalam darah dan sel-sel darah merah, dan ini berbeda tergantung dari tekanan parsial CO₂. Sejumlah karbon dioksida larut di dalam darah secara fisik, tetapi sebagian besar

terlarut pada cairan-cairan di dalam sel-sel darah merah ketika CO_2 bergabung dengan berbagai macam zat-zat kimia dan dengan air, yang membentuk asam karbonat ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$). Kelebihan asam ini di dalam darah disebut asidosis. Hal ini dicegah dengan adanya bahan-bahan kimia yang memiliki sifat alkali di dalam darah yang dikenal sebagai penahan ("*buffer*") yang membantu menjaga agar kadar asam di dalam darah tetap konstan.

D. Pengawasan pernapasan

Sebagai upaya mempertahankan kadar oksigen dan karbon dioksida, volume pernapasan semenit (adanya ventilasi dari paru-paru) harus seimbang dengan pemakaian oksigen dan kecepatannya menghasilkan karbon dioksida.

Pernapasan diatur oleh pusat pernapasan terutama dalam hal terjadinya perubahan kadar CO_2 darah, tetapi juga sedikit dipengaruhi oleh sensor di dalam aorta dan arteri karotis yang mengamati perubahan-perubahan kadar O_2 di dalam darah. Hal ini menerangkan mengapa ketidaksadaran dapat terjadi bila melakukan hiperventilasi sebelum penyelaman tahan napas. Pusat pernapasan tidak dirangsang oleh kadar CO_2 yang telah berkurang oleh hiperventilasi dan gagal untuk bereaksi dengan baik terhadap bahaya berkurang kadar O_2 selama penyelaman dan sewaktu naik ke permukaan.

Bab V

Ilmu Faal Penyelaman

Karena penyelam membutuhkan gas untuk pernapasan dalam air melalui suatu sistem katup dan pipa yang sempit, terdapat cukup banyak hambatan terhadap pernapasan. Hal ini diperberat oleh pernapasan yang cepat seperti pada pekerjaan yang berat. Sewaktu menyelam masuk ke dalam air, tahanan ini meningkat oleh makin meningkatnya kepadatan gas bersama dengan meningkatnya kedalaman. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan gas-gas yang kurang padat pada kedalaman yang dalam sekali seperti helium atau pemakaian lubang-lubang yang lebih besar pada sistem yang mengatur aliran.

Pengaruh utama dari meningkatnya hambatan pada pernapasan ini adalah berkurangnya ventilasi paru-paru. Akibatnya lebih banyak tenaga harus dikerahkan untuk bernapas dan ini dapat menjurus pada cepat terjadinya kelelahan dibandingkan dengan pekerjaan yang sama yang dilakukan di daratan. Bila ventilasi udara terganggu sehingga sangat mengurangi pemindahan oksigen ke darah di dalam paru-paru, kurangnya suplai oksigen pada paru-paru dan jaringan (hipoksia) atau penimbunan CO_2 dalam darah dapat sangat membahayakan. Masalah ini jarang terjadi pada penyelaman dengan SCUBA karena tekanan parsial dari oksigen yang sudah dihirup akan meningkat sesuai dengan peningkatan tekanan absolut dan cenderung dapat mengatasi tiap hipoksia yang disebabkan oleh berkurangnya ventilasi.

Pembentukan karbon dioksida dapat terjadi sedikit lebih banyak tetapi jarang mengakibatkan gejala-gejala. Kecepatan pemakaian oksigen dan pembentukan karbon dioksida menentukan kecepatan pernapasan atau kecepatan ventilasi (volume pernapasan semenit).

Ini tetap konstan pada tiap kedalaman bagi seorang penyelam dan pada penggunaan tenaga yang ringan. Akan tetapi bila tekanan meningkat, volume gas yang sebenarnya (dinyatakan dalam perbandingan yang sama dengan permukaan atau *expressed in surface equivalent*) yang masuk ke paru-paru harus meningkat sebanding dengan tekanan absolut yaitu volume pernapasan semenit sewaktu istirahat di permukaan biasanya 6 liter/menit. Pada 10 meter (2 ATA) sama dengan 12 liter/menit (2 ATA x 6 liter/menit) di permukaan. Pada 30 meter (4 ATA) ini sama dengan 24 liter/menit di permukaan (*surface equivalent*). Hal ini sesuai dengan hukum Boyle dan menerangkan mengapa sejumlah gas tertentu di dalam silinder dapat terpakai waktu yang lebih pendek pada kedalaman yang lebih dalam.

Pemakaian oksigen dalam keadaan istirahat adalah kurang lebih 250 ml (0.25 liter) per menit. Ini meningkat sewaktu bekerja, tetapi tidak terpengaruh oleh kedalaman. Empat sampai lima liter oksigen per menit dapat dihabiskan oleh manusia pada penggunaan tenaga yang maksimal, tergantung pada tingkat kesehatan jasmani dan ukuran dari orang tersebut. Selama aktivitas penyelaman yang normal pemakaian oksigen adalah kurang lebih 1 liter per menit. Jumlah *carbon dioxide* yang terbentuk juga tidak terpengaruh oleh kedalaman dan biasanya kira-kira 80% dari pemakaian oksigen, yaitu kurang lebih 800 cc CO₂ yang dihasilkan per menit.

Renang SCUBA lamban (0,5 knot) menghasilkan:

Pemakaian oksigen 0,8 liter/menit

Volume pernapasan per menit 18 liter/menit (0.64 *cubic feet*).

Renang SCUBA sedang (0.8 knot) menghasilkan:

Pemakaian oksigen 1,4 liter/menit

Volume pernapasan per menit 28 liter/menit (1,4 *cubic feet*)

Renang SCUBA cepat (1 knot) menghasilkan:

Pemakaian oksigen 1,8 liter/menit

Volume pernapasan per menit 40 liter/menit (1.4 *cubic feet*)

Perenangan maksimal yang hanya dapat dipertahankan dalam waktu singkat (1,2-1,4 knot) menghasilkan:

Pemakaian oksigen 2,5-3,4 liter/menit

Volume pernapasan per menit 60-75 liter/menit (2,1-2,6 *cubic feet*)

Penyelam-penyelam berpengalaman agaknya lebih dapat menyesuaikan diri secara fisiologis dengan lingkungan tekanan tinggi (hiperbarik) dibandingkan dengan atlet-atlet biasa. Pemakaian oksigen akan berkurang bila tubuh menggunakan oksigen secara lebih efisien. Juga terdapat sedikit peningkatan volume paru-paru (meskipun volume sisa mungkin sedikit menurun) dan karenanya penyelaman tahan napas dapat diperpanjang/ diperlama. Peningkatan toleransi terhadap pembentukan *carbon dioxide* juga terjadi sehingga seorang penyelam berpengalaman dapat bernapas lebih pelan dan lebih dalam dan dapat menahan napasnya untuk untuk beberapa saat setelah setiap kali tarikan napas. Jenis pernapasan ini sangat menghemat persediaan udara tetapi juga bisa membahayakan ("*skip breathing*"). Kecepatan pemakaian udara biasanya meningkat secara mencolok pada penyelam-penyelam yang belum berpengalaman, terutama dalam keadaan tegang dan gugup.

Aktivitas berat, keadaan dingin, atau menggunakan suplai regulator yang rusak akan memboroskan pemakaian udara. Kecepatan pemakaian udara dapat dikurangi dengan mengatur kecepatan pernapasan seperti seorang penyelam berpengalaman,

dengan menyesuaikan diri dan dengan mencapai tingkat kesegaran jasmani yang tinggi. Menghemat energi sebanyak mungkin dengan menghindari gerakan-gerakan yang tidak perlu dapat mengurangi pemakaian udara.

Perubahan peredaran darah dimanfaatkan pada kemampuan menahan napas penting, tetapi dapat dimanfaatkan pada kemampuan menahan napas pada beberapa jenis binatang menyusui (mamalia) yang menyelam seperti ikan lumba-lumba dan ikan paus. Kecepatan denyut jantung sedikit menurun tetapi ada sedikit penutupan pemberian darah, ke alat-alat tubuh yang tidak penting (seperti di dalam anjing laut, dll) di dalam tubuh manusia.

Bab VI

Pengaruh Kejiwaan (Efek Psikologis)

Sedikit sekali terdapat fakta-fakta mengenai hubungan antara penyelam dan kepribadian. Gangguan-gangguan kejiwaan yang terjadi selama penyelaman telah pernah digambarkan walaupun belum didokumentasikan dengan baik. Analisis terhadap penyelam-penyelam militer profesional di angkatan laut Australia memperlihatkan bahwa penyelam-penyelam yang sukses biasanya mereka yang cerdas, segar jasmaniah, tabah secara emosional, dan biasanya dapat berdiri sendiri. Mereka juga memiliki tingkat gangguan saraf yang rendah yaitu mereka tidak mudah gelisah. Beberapa gangguan kejiwaan yang umumnya dialami adalah sebagai berikut.

A. Ansietas karena Fobia (*Phobic Anxiety*)

Phobic anxiety adalah rasa takut yang tidak beralasan ketika tingkat kegelisahan yang normal dari orang-orang yang peka pada lingkungan di bawah laut mungkin akan menjadi tambah kompleks karena kesadaran yang berlebihan atas kesanggupannya, tetapi ini pasti membahayakan. Ini berakibat meningkatnya kegelisahan dan suatu lingkaran setan menyusul sehingga menjadi suatu rasa takut yang hebat atau terjun ke dalam air mungkin terjadi pada penyelaman selanjutnya. Pada sebagian orang sebetulnya terdapat rasa takut sebelum penyelaman yang pertama tetapi mereka sanggup mendapatkan motivasi yang cukup untuk melakukan penerjunan

pertama daripada gagal atau menunjukkan tanda-tanda kelemahan di hadapan kawan-kawan mereka. Sayang sekali orang-orang inilah yang paling gampang menjadi panik dan mereka bisa membahayakan teman-temannya seperti juga berbahaya terhadap dirinya sendiri. Kegelisahan mereka akan meningkat setelah penyelaman yang pertama, kalau ini tidak dihentikan dan penyelaman berikutnya masih dilakukan akan sangat membahayakan.

B. *Claustrophobia*

Claustrophobia atau rasa takut berada di dalam ruangan tertutup itu sendiri, relatif jarang terjadi. Bilamana dialami biasanya tampak sebagai suatu rasa takut yang tidak beralasan untuk masuk ke dalam air dalam suatu ruang kompresi atau memakai alat selam standar. Pengaruh ini sering kali tidak terlihat dalam bentuk yang lengkap dan mungkin hanya terjadi pada saat-saat penerangan yang kurang (buruk) seperti penyelaman di waktu malam, di dalam air yang suram, atau bila menyelam untuk waktu yang lama.

C. *Blue Orb Syndrome*

Blue orb atau *Blue Dome Syndrome* terjadi bilamana penyelam menyelam sendirian atau kehilangan penglihatan terhadap benda-benda yang sudah dikenal atau terhadap dasar laut. Rasa takut akan keterpencilan di dalam keluasan lautan akan timbul dan kepanikan terjadi. Syukurlah bahwa rasa takut ini dapat ditanggulangi dengan jalan berenang berkelompok dengan penyelam-penyelam lain atau sejauh mata dapat melihat dasar laut, karang, formasi batu karang, dll.

D. *Kegelisahan (Anxiety)*

Reaksi kegelisahan yang berlebihan umumnya terjadi pada beberapa penyelam yang mengalami kemalangan yang tidak terjadi sebelumnya seperti masuknya air ke dalam penutup muka. Kepanikan yang tidak perlu dan ketakutan (tingkah laku) tidak beralasan

dapat terjadi dengan akibat-akibat yang berbahaya seperti naik ke permukaan yang cepat atau menjambret tabung-tabung persediaan udara dari penyelam-penyelam lainnya. Reaksi ini lebih sering terjadi pada penyelam-penyelam yang memiliki suatu tingkat kegelisahan yang normal atau di atas normal.

E. Ilusi

Ilusi dapat terjadi karena salah tafsir terhadap benda-benda yang terlihat atau terdengar dalam keadaan penerangan yang buruk. Kegelisahan yang berhubungan dengan lingkungan seperti air yang suram akan meningkatkan rasa sugesti sedemikian rupa hingga suatu benda yang sudah dikenal seperti teman sendiri bisa keliru dikira ikan hiu.

F. Reaksi Kejiwaan karena Kelainan Fisiologis

Kelainan fisiologis seperti pembiusan gas lembam, kekurangan oksigen (*hipoxia*), keracunan karbon dioksida, dll, dapat menyebabkan berbagai reaksi kejiwaan tergantung pada kepribadian si penyelam, lingkungan, dan beratnya gangguan fisiologis tersebut. Karena penyelaman dapat dianggap sebagai masuk ke dalam lingkungan asing yang berbahaya, bagi orang-orang yang menderita kegelisahan yang abnormal atau dalam tingkat kegelisahan yang hebat tidak dibenarkan untuk menyelam.

Orang-orang yang sedang dirawat untuk keadaan demikian yaitu yang mendapat obat-obat penenang (*tranquilizers*), obat antimurung (*anti depressant*) dll dilarang menyelam. Pemeriksaan yang teliti oleh petugas kesehatan dan staf pelatih penyelam sering dapat menemukan orang-orang demikian. Penilaian kejiwaan dari calon-calon penyelam belum merupakan ujian saringan yang berarti untuk menentukan siapa yang ternyata akan menjadi penyelam-penyelam yang berhasil. Maka dari itu kebanyakan sekolah penyelam swasta maupun pemerintah mempercayakan sepenuhnya kepada tata

cara latihan yang keras dan setepat-tepatnya untuk mengeluarkan latihan penyelaman. Sistem ini ternyata cukup berhasil tetapi jelas menyebabkan sebagian besar waktu dan usaha terbuang karena tingkat kegagalan dan pengunduran diri yang relatif tinggi.

Bab VII

Nyaris Tenggelam (*Near Drowning*)

A. Definisi

Nyaris tenggelam merupakan istilah yang tepat untuk situasi yang disebabkan terhisapnya air masuk ke dalam paru-paru, dan istilah ini menyatakan bahwa korban belum mati. Istilah “tenggelam” menyatakan bahwa korban telah meninggal dan pertolongan telah terlambat.

Sekitar 5-6 orang dari tiap 100.000 orang mati akibat tenggelam dalam setahun di seluruh dunia. Di Australia jumlah ini adalah sekitar 5-6 orang setahun dan jumlah tersebut terus meningkat. Sayangnya sekali jumlah dari orang yang selamat dari “nyaris tenggelam” tidak diketahui karena amat jarang dilaporkan, tetapi diduga jauh lebih banyak daripada yang mati. Pada penyelam, tenggelam merupakan penyebab utama dari kematian dan biasanya terjadi sebagai komplikasi dari bencana yang terjadi di bawah ataupun di permukaan air.

Ketidaksadaran pada penyelam biasanya berakibat terhisapnya air ke dalam paru-paru (aspirasi) dan bila tidak segera ditolong korban akan meninggal.

Fisiologi “nyaris tenggelam” pada manusia dahulu didasarkan pada percobaan binatang. Akan tetapi setelah diselidiki langsung pada korban “nyaris tenggelam” dan tenggelam pada manusia, ternyata hal yang terjadi pada binatang percobaan tidak selalu terjadi pada

manusia. Secara singkat, akibat utama dari masuknya air ke dalam paru-paru pada manusia – tak ada perbedaan yang berarti apakah air asin atau air tawar – adalah:

1. Hipoksia (kekurangan oksigen) pada jaringan – terutama dalam otak dan jantung.
2. Asidosis darah (darah menjadi lebih asam, yaitu pH-nya menurun).
3. Pengentalan darah (hemokonsentrasi)
4. Pembengkakan jaringan paru (edema paru).

Hipoksia (atau kekurangan oksigen) biasanya berat dan diakibatkan oleh sumbatan kantong udara oleh air dan busa. Kolaps jaringan paru dan bertambah kakunya paru menyebabkan kesulitan untuk bernapas. Hal ini bersama-sama dengan pembengkakan jaringan paru akan mengurangi kemampuan paru untuk memberi oksigen ke dalam darah dan akibatnya hipoksia akan bertambah berat. Bila hipoksia sedemikian beratnya sehingga memengaruhi organ-organ penting seperti jantung dan otak serta ginjal, organ-organ tersebut akan tak berfungsi dan mati. Bila tidak terjadi kematian akibat kegagalan jantung ataupun pernapasan, besar kemungkinan akan terjadi infeksi sekunder yang juga berakibat fatal.

Jaringan otak dapat bertahan terhadap hipoksia yang berat selama 4-5 menit sebelum terjadi kerusakan yang permanen dan tak dapat disembuhkan. Saat yang kritis ini bisa lebih lama dalam keadaan yang sangat dingin karena berkurangnya kebutuhan oksigen dalam keadaan demikian. Pengambilan oksigen oleh paru juga akan lebih banyak apabila berada di kedalaman ketika tekanan parsial oksigen amat tinggi. Gabungan dari faktor tersebut dapat menghasilkan penyembuhan bila berada di dalam air selama kira-kira 40 menit.

Keadaan korban tergantung dari beratnya tingkat “nyaris tenggelam” tersebut. Pada kasus ringan terlihat kebiruan bila harus mengerahkan tenaga untuk bernapas. Batuk sering didapatkan. Pada

kasus berat terlihat adanya buih yang keluar dari tenggorokan dan korban sering tidak bernapas serta denyut nadinya tak teraba. Pada mulanya korban akan terlihat sehat-sehat saja, tetapi keadaannya dengan cepat bertambah buruk.

B. Pengobatan

Pada semua kasus “nyaris tenggelam” langkah-langkah berikut ini harus segera dan terus-menerus dilakukan hingga korban mendapat pengobatan yang lebih efisien di rumah sakit.

1. Bawa korban secepatnya ke permukaan. Jangan hiraukan bahaya penyakit dekompresi atau naik terlalu cepat.
2. Segera lakukan pernapasan mulut ke mulut begitu keadaan memungkinkan, baik sewaktu masih di dalam air maupun di pantai atau di kapal. Yakinkan bahwa jalan napas bebas dari benda asing, tidak terhalang oleh lidah, muntahan, dsb. Luruskan kepala ke belakang agar jalan napas menjadi lurus. Kecepatan peniupan sekitar 12-15 kali per menit (dewasa) dan 20-25 kali per menit untuk anak-anak. Bila terdapat *Oxy-viva* ataupun peralatan bantuan pernapasan oksigen lainnya, gunakan alat itu untuk mengisi paru-paru korban dengan oksigen.
3. Raba denyut nadi, bila tidak ada segera lakukan pengurutan jantung. Denyut nadi sekitar 60 kali per menit cukup baik. Bila ini dilakukan bersamaan dengan pernapasan mulut ke mulut, maka cara yang baik adalah:
 - Satu orang penolong: 3 kali peniupan napas tiap 15 kali urut jantung.
 - Penolong dua orang atau lebih: 1 peniupan tiap 5 pengurutan jantung

Kedua cara pertolongan tersebut harus terus dilakukan hingga didapatkan pernapasan dan denyut nadi yang normal, atau hingga cara yang lebih efisien dapat dilakukan di rumah

sakit. Jangan menghentikan tindakan pertolongan hingga korban dinyatakan meninggal oleh dokter.

- Atasi *shock* dengan kaki sedikit ditinggikan. Jangan menghangatkan tubuh ataupun memberi sesuatu lewat mulut kecuali bila korban sangat kedinginan. Tubuh yang dingin dapat menghindarkan terjadinya hipoksia.
- Bila dapat diberikan 100% oksigen dengan tekanan positif, baik melalui ventilator otomatis maupun manual, ini lebih baik daripada pernapasan mulut ke mulut.
- Segera angkut korban ke rumah sakit guna mendapatkan pengobatan yang lebih sempurna dan untuk mengobati semua gejala yang didapat.

C. Pencegahan

Pencegahan hanya dapat dilakukan dengan meningkatkan teknik berenang dan menyelam, serta meningkatkan pengetahuan cara resusitasi pada semua orang terutama penyelam. Karena banyak penyelam yang tenggelam setelah tiba di permukaan, setiap penyelam diharuskan memakai jaket pelampung atau alat apa saja yang dapat menjaga agar penyelam tetap mengapung di permukaan setiap saat. Jaket pelampung yang dapat mengembang oleh udara dari sumber atau silinder tersendiri amat ideal untuk tujuan tersebut. Jaket tersebut telah dirancang sedemikian rupa hingga kepala korban akan tetap berada di atas air setiap saat. Jaket pelampung tunggal yang dihubungkan di antara dua penyelam melalui sebuah tali (*buddy line*) akan dapat menyebabkan kedua penyelam tersebut terus berhubungan. Dengan demikian dapat mempercepat usaha pertolongan bila salah satu tak sadar atau cedera.

Bab VIII

Sindrom Aspirasi Air Laut (*Salt Water Aspiration Syndrome*)

A. Definisi

Keadaan ini baru saja dapat dijelaskan. Pada masa lalu, gejala-gejala tersebut dianggap sebagai barotrauma paru, pneumonia, atau penyakit dekompresi. Gejala yang ada menggambarkan reaksi kimiawi akut di kantong udara dalam paru, yang masuk ke dalamnya karena menelan air asin.

Bisa terjadi akibat bernapas melalui regulator yang bocor atau melakukan prosedur tertentu seperti pernapasan ganda (*buddy breathing*), dsb. Tak pernah dilaporkan adanya kematian.

Segera setelah mencapai permukaan sering terjadi batuk. Kemudian diikuti dengan periode tanpa gejala selama 1-2 jam. Bila dalam waktu tersebut timbul gejala, gejala akan menetap. Setelah periode laten tersebut, mungkin akan terjadi batuk yang semakin berat disertai dengan terdapatnya dahak, napas pendek, dan nyeri dada terutama waktu menarik napas. Menggigil, kekakuan atau menggeletar (*tremors*), mual atau muntah, sakit kepala, dan rasa tak enak badan sering pula terjadi. Kemudian akan diikuti dengan rasa sakit menyeluruh pada anggota tubuh, dada, punggung dan perut, bersamaan dengan terjadinya kekacauan mental atau sedikit gangguan kesadaran. Bisa juga terjadi kelemahan dan koma.

Penyelam biasanya demam (sering 40° C) dan denyut nadinya cepat (kira-kira 100-110 kali per menit). Menggigil dan getaran otot sering didapatkan. Kadang-kadang terlihat kebiruan pada bibir, telinga, dan jari-jari tangan – ini lebih sering terjadi bila penyelaman dilakukan di air dingin.

Pada kasus yang ringan, gejala-gejala pada paru-paru biasanya akan kembali normal dalam 1 jam, sedangkan pada kasus berat bisa menetap beberapa hari. Gejala biasanya akan menghilang setelah 6 jam dan sangat jarang akan menetap hingga lebih dari 24 jam.

Pada pemeriksaan biasanya hanya terlihat kelainan yang ringan. Akan tetapi fungsi pernapasan berkurang dan terlihat tanda-tanda hipoksia.

Pada pemeriksaan rontgen paru terlihat bintik-bintik pada lapangan paru. Pada pemeriksaan dengan stetoskop dapat terdengar bunyi yang khas. Penderita akan mengatakan ia menelan air asin ketika melakukan pernapasan berganda atau sewaktu naik bebas (*free ascent*). Penyebab lain yang sering ditemukan adalah kerusakan katup atau regulator, suplai gas yang tidak cukup, segel *mouthpiece* yang buruk, pencemaran suplai gas oleh air, atau dilepaskannya *mouthpiece* di bawah air karena alasan tertentu.

B. Pengobatan

Pada kebanyakan kasus hanya perlu pemberian 100% oksigen lewat masker, istirahat di tempat tidur, hangatkan badan dan pemulihan tenaga, analgentika seperti parasetamol (Panadol) dapat pula diberikan.

C. Pencegahan

Tergantung dari prosedur latihan yang tepat dan pemeliharaan alat selam yang saksama.

Bab IX

Binatang Laut Berbahaya

Untunglah bahwa kematian penyelam akibat serangan binatang laut jarang terjadi. Namun demikian, di perairan kita cukup banyak terdapat binatang laut yang berbahaya dan setiap penyelam harus memiliki pengetahuan tentang akibat yang utama dari sengatan atau gigitan binatang tersebut, juga cara untuk melakukan pertolongan pertama yang bermanfaat. Hanya beberapa dari jenis binatang laut berbahaya yang dapat mengancam kehidupan yang akan diuraikan berikut ini.

A. Hiu

Ikan ini sangat ditakuti. Ia jarang menyerang bila dibandingkan dengan kepopuleran menyelam dan berenang. Akan tetapi bila ada serangan hiu, maka oleh pers akan diberitakan secara besar-besaran. Bila kecelakaan akibat kendaraan bermotor diberitakan dengan cara yang sama, pastilah penjualan kendaraan bermotor akan merosot dengan drastis.

Secara relatif belum banyak dilaporkan serangan hiu yang mengakibatkan kematian ataupun cedera hebat. Namun demikian cukup banyak terdapat kasus yang lolos dari lobang jarum dilaporkan oleh penyelam yang memilih untuk menyelam di antara atau di sekitar hiu dan mereka yang menginginkan popularitas.

Cedera yang disebabkan serangan hiu biasanya berat dan meluas. Gejalanya berkisar antara luka-luka ringan hingga robekan bagian tubuh dan amputasi. Lecet-lecet karena kulit hiu sering terlihat, dan bagian dari gigi hiu bisa didapatkan pada luka.

Akibat yang biasa terjadi pada manusia berupa kehilangan darah yang hebat dan *shock* (tekanan darah rendah, denyut nadi cepat, pucat, sianosis atau kebiruan, pingsan, dan kematian secara cepat). Komplikasi yang lambat dari infeksi pada luka akan menyebabkan keracunan darah yang berbahaya, *gangrene* (pembusukan jaringan), dan tetanus.

1. Pengobatan Akibat Hiu

Telah diuraikan oleh pemerintah Afrika Selatan yaitu terdapat lebih sering serangan hiu dibandingkan dengan bagian mana pun di dunia.

Dasar dari pengobatan yang berhasil adalah:

- a. Segera lakukan resusitasi di tempat kejadian hingga keadaan korban menjadi stabil. Ini merupakan keharusan. Pertolongan medis dapat diminta dari rumah sakit yang berdekatan. Dalam keadaan bagaimanapun juga, janganlah tergesa-gesa membawa penderita ke rumah sakit karena ini akan mengurangi harapan untuk hidup.
- b. Hentikan perdarahan. Atasi perdarahan dengan balutan, torniket lebar, atau tekan arteri dengan jari tangan. Kalau perlu dapat dilakukan dengan saputangan yang bersih, handuk, dsb.
- c. Obat pelawan rasa sakit yang kuat seperti morfin dapat diberikan segera mungkin. Kaki harus diangkat ke atas.
- d. Transfusi dengan darah atau plasma biasanya dapat menstabilkan keadaan karena perdarahan dapat diatasi dengan baik.

- e. Jangan memberikan apa pun lewat mulut anestesi akan secepatnya dilakukan.
- f. Pengangkutan korban ke rumah sakit untuk dioperasi dapat diizinkan bila dokter menganggap keadaan korban sudah cukup baik untuk diangkut.

Rehabilitasi setelah serangan hiu sering kali memakan waktu lama karena ini mencakup rehabilitasi fisik dan mental.

2. Pencegahan Bahaya Hiu

Hingga kini belum ditemukan cara pencegahan yang benar-benar efektif. Pemasangan jala cukup efektif untuk perenang di pantai tetapi tidak untuk penyelam. Karena hiu amat mudah terangsang oleh getaran dari ikan yang luka, pemburu ikan sangat sering diserang oleh hiu. Serangan ini sebetulnya tidaklah ditujukan terhadap orangnya tetapi kepada ikan yang luka, karenanya membawa ikan yang diselipkan pada tali pengikat pinggang sangatlah berbahaya. Janganlah memanah ikan di daerah yang terkenal banyak hiunya. Ada pepatah yang mengatakan bahwa “berenang berdua mengurangi kemungkinan untuk diserang hiu sebesar 50%”. Kenyataannya, banyak korban yang tidak melihat hiu sebelum ia diserang. Sepasang penyelam yang harmonis akan sangat berguna dalam memperhatikan adanya kemungkinan serangan hiu.

3. Riwayat Kasus Akibat Hiu

Ada beberapa kasus serangan hiu yang terdokumentasi di antaranya:

- a. Seorang penyelam muda diserang hiu sehingga kakinya sebatas lutut putus. Ia dengan segera ditolong, dipasang torniket dan kemudian dilarikan ke rumah sakit yang jaraknya 15 mil. Berita di surat kabar: “Korban Serangan Hiu Meninggal Ketika Diangkut ke Rumah Sakit”.

Beritanya seharusnya demikian: “Korban Serangan Hiu Meninggal karena Ia Diangkut ke Rumah Sakit”.

- b. Seorang peselancar kakinya sebatas lutut digigit oleh hiu. Ia dibantu menuju ke pantai dan dipasang torniket serta balutan pada kakinya dengan bahan-bahan seadanya. Ia dibaringkan dengan kepala di bawah di pantai tersebut, dihangatkan tubuhnya dan tidak diberikan apa pun lewat mulut. RAAF diberi tahu, dan dengan helikopter seorang dokter beserta peralatannya diterbangkan ke tempat kejadian. Setelah mendapat pertolongan dokter, korban diterbangkan ke rumah sakit. Korban selamat dan kembali berselancar.

B. *Sea wasp*

Nama sebenarnya adalah *chinorex fleckeri* dan merupakan jenis ubur-ubur yang paling berbahaya. Sungutnya amat panjang dan hampir tak terlihat di dalam air. Bila bersentuhan dengan kulit korban akan mengeluarkan sengatan yang amat berbisa.

Rasa sakit yang hebat akibat sengatan sungut pada kulit segera terasa. Kematian bisa terjadi dalam beberapa menit – terutama pada orang muda – sebagai akibat langsung dari tusukan bisa atau karena tenggelam. Luka pada kulit berupa bercak-bercak bergaris atau menonjol yang bila sembuh sering meninggalkan cacat (berbekas).

1. Pengobatan Akibat *Sea Wasp*

Pengobatan sengatan *sea wasp* juga berlaku sebagai pengobatan terhadap sengatan dari jenis ubur-ubur lainnya dan juga sengatan dari “*bluebottle*”.

- Segera singkirkan korban dari bahaya selanjutnya (terus disengat, tenggelam, dsb).
- Tuangkan spiritus atau cairan yang mengandung alkohol seperti wiski, *after-shave lotion*, dsb, ke tempat sengatan.

Cungkil sungut (duri) yang ada luka dengan pisau atau kayu. Atau keringkan duri tersebut dengan garam, gula bedak, debu, dan sebagainya. Hindarkan pengeluaran sel bisa berikutnya dan gosoklah dengan tangan atau pasir basah.

- Ligatur yang lebar atau balutan dapat dipasang pada anggota tubuh untuk melokalisasi luka. Ini tidak diperlukan pada luka sengatan kecil.
- Kurangi rasa sakit dengan menyuntikkan morfin atau obat sejenis dan oleskan salep anestetik (misalnya *Xylocaine*) pada kulit.
- Bila terjadi gangguan pernapasan atau peredaran darah lakukan pernapasan mulut ke mulut atau pengurutan jantung.
- Di Australia telah terdapat antitoksin terhadap *sea wasp* dan obat ini dapat menyelamatkan jiwa korban bila disuntikkan segera setelah terjadi sengatan.

2. Pencegahan Bahaya *Sea Wasp*

Cedera yang berat dapat dihindarkan dengan tidak melakukan penyelaman pada musim-musim yang diketahui bahwa binatang ini banyak terdapat. Pakaian pelindung yang dikenakan secara baik dapat mencegah sengatan oleh *sea wasp* ini. Saat ini sedang dilakukan penyelidikan untuk mendapatkan vaksin terhadap bisa binatang ini agar dapat diperoleh kekebalan terhadap sengatan *sea wasp*.

C. Kerang beracun

Berbagai jenis kerang yang berwarna-warni banyak terdapat di laut. Kesemuanya haruslah diperlakukan secara hati-hati dan jangan memegangnya dengan tangan telanjang. Bagian penyengat dari binatang yang hidup di dalam kerang dapat mencapai tiap

permukaan badan kerang. Racun disuntikkan melalui semacam panah beracun yang amat kecil kepada korban dari organ seperti pipa yang bergerak.

Gejala hanya akan menetap selama 6 jam, dan apabila korban tidak mati dalam jangka waktu tersebut, korban pasti akan sembuh. Gejala klinis mulanya berupa perasaan tebal dan tertusuk-tusuk, yang menyebar dari daerah tusukan. Sering terjadi kelumpuhan otot lokal dan bisa meluas ke organ-organ yang penting dan dapat menyebabkan kelumpuhan pernapasan dengan terhentinya pernapasan dan segera korban meninggal. Kegagalan jantung bisa juga terjadi.

1. Pengobatan Akibat Kerang Beracun

Dasar pengobatan adalah membatasi penyebaran bisa di dalam darah dengan cara memasang ligatur di antara tubuh dengan luka pada anggota tubuh, dan melakukan sayatan di daerah luka untuk mengeluarkan bisanya. Pernapasan mulut ke mulut atau cara lain yang lebih memuaskan harus terus-menerus dilakukan, kalau perlu juga pengurutan jantung sampai korban sembuh sempurna.

D. Blue Ringed Octopus

Binatang kecil yang indah ini terdapat pada celah-celah karang di tepi pantai. Jika diganggu, ia akan mengeluarkan cincin berwarna biru-biru pada permukaannya. Keindahannya inilah yang sering menimbulkan korban, terutama anak-anak. Luka gigitan biasanya kecil dan tidak sakit, sering diabaikan oleh korban hingga terjadinya gejala yang serius. Bisa yang masuk ke dalam tubuh dapat menyebabkan kelumpuhan yang akan menghebat dalam beberapa menit, yang dapat mengakibatkan berhentinya pernapasan. Kesadaran biasanya tak terganggu, tetapi korban tidak bisa berkomunikasi dengan orang-orang di sekitarnya karena kelumpuhan.

1. Pengobatan Akibat *Blue Ringed Octopus*

Pernapasan buatan biasanya perlu dilakukan selama 6-12 jam, setelah mana biasanya korban akan sembuh. Pemasangan torniket lebar dan sayatan di atas luka harus segera dilakukan setelah tempat gigitan ditemukan. Janganlah memegang binatang ini kecuali dengan bantuan pinset atau alat lainnya.

2. Riwayat Penyakit Akibat *Blue Ringed Octopus*

Seorang penyelam menemukan sebuah *octopus* kecil yang sangat indah dengan cincin biru pada kulitnya. Ia menyimpan *octopus* itu di bawah baju selamnya untuk diperlihatkan pada rekannya. Setelah menyelam ia mengeluh sukar melihat dan memperlihatkan *octopus* tersebut pada temannya. Temannya dengan tepat mendiagnosis kesulitan yang dialami oleh penyelam tersebut dan terus melakukan pernapasan mulut ke mulut hingga tiba di rumah sakit. Walaupun ia mengalami kelumpuhan total dan tidak bernapas, ia tetap sadar.

E. *Stonefish* (Ikan batu)

Ikan ajaib yang dapat menyamar ini dapat menyuntikan bisa melalui tulang belakangnya yang keras hingga menembus kulit korbannya.

Gejala umumnya berupa nyeri setempat yang hebat dengan adanya peradangan pada jaringan yang berdekatan dan kadang-kadang bisa terjadi gejala lebih hebat (terutama pada anak-anak) berupa *shock*, gangguan pernapasan, koma, dan kematian (jarang).

1. Pengobatan Akibat Ikan Batu

Semua tusukan/sengatan ikan yang sejenis harus diperlakukan sama yaitu dengan memasang ligatur lebar dan rasa sakit dikurangi dengan menyuntikkan anestetikum lokal pada kulit di sekitar luka. Bila tidak terdapat rendamlah seluruh

anggota tubuh yang terluka di dalam air panas (45° C) selama 30 menit untuk mengurangi rasa sakit dan meringankan gejala dengan cara menghancurkan racun. Morfin dapat diberikan atas intruksi dokter. Anti-bisa untuk *stonefish* hanya boleh diberikan pada kasus yang berat atas instruksi dokter karena obat ini dapat menimbulkan bahaya bagi penderita. Pernapasan mulut ke mulut dan pengurutan jantung kadang-kadang saja diperlukan.

2. Pencegahan Bahaya Ikan Batu

Jangan memegang ikan ini. Pemakaian sepatu yang alasnya kuat di daerah yang dikenal banyak terdapat ikan ini.

F. Ular Laut

Walaupun sangat beracun, ular ini jarang menyebabkan kematian di Australia. "Serangan" biasanya terjadi di beberapa tempat tertentu dan dalam waktu tertentu pula. Akan tetapi pada kenyataannya serangan itu hanyalah semacam "penyelidikan" dari ular tersebut. Serangan yang sesungguhnya yang berupa gigitan amat jarang terjadi.

Gejala biasanya terjadi dalam waktu 20 menit sampai beberapa jam setelah gigitan. Gejala yang sering terjadi berupa kekakuan anggota tubuh, rasa sakit, dan kontraksi otot yang disertai kelemahan. Kelumpuhan otot bisa menjalar ke badan dan ini dapat menyebabkan kesukaran bernapas. Korban sering menjadi panik dan bertindak kurang wajar. Komplikasi berat seperti terhentinya pernapasan yang mengakibatkan kematian cukup sering terjadi.

1. Pengobatan Akibat Ular Laut

Pasang ligatur lebar atau balutan di antara tubuh dengan luka gigitan dan keluarkan bisa dari luka dengan mencuci luka memakai cairan. Penyayatan luka agar terjadi perdarahan juga dianjurkan. Korban disuruh istirahat dan ditenangkan. Mungkin perlu dilakukan pernapasan mulut ke mulut dan pengurutan

jantung. Anti-bisa hanya diberikan pada kasus yang berat dan hanya atas nasihat dokter.

2. Pencegahan Bahaya Ular Laut

Pakaian selam cukup melindungi tubuh penyelam karena kebanyakan ular laut taringnya pendek dan tidak bisa menembus pakaian selam. Dianjurkan untuk menjauhi daerah yang banyak terdapat ular laut dan jangan panik kalau bertemu dengan ular tersebut.

Bab X

Barotrauma

Barotrauma adalah istilah yang digunakan untuk kerusakan jaringan yang terjadi akibat dari ketidakseimbangan tekanan pada rongga udara dalam tubuh dengan jaringan tubuh. Karena jaringan tubuh kebanyakan terdiri dari zat padat atau cairan dengan campuran zat padat, tekanan air dihantarkan ke seluruh jaringan tanpa berubah. Rongga udara dalam tubuh umumnya dikelilingi oleh tulang-tulang yang tak lentur. Oleh karena itu, tekanan tidak dapat (kecuali paru-paru) digantikan jika ada kekurangan isi rongga udara. Pada saat penyelam turun dan tekanan air naik, selisih antara tekanan jaringan (yang sama dengan tekanan air) dengan tekanan dalam rongga udara naik. Tekanan dan isi dalam rongga udara mula-mula bertahan sama seperti di permukaan (1 ATA) tetapi jika tekanan jaringan (dan air) naik, tekanan juga akan meningkat.

Barotrauma waktu turun ("Squeeze")	Barotrauma waktu naik
Sinus	Paru-paru: - kerusakan jaringan
Paru-paru	- Emfisema
Tubuh	- Pneumotoroks
Muka	- Emboli udara
Kulit	Saluran pencernaan
Gigi	Gigi
Telinga:	Sinus
- Telinga bagian luar	Telinga
- Telinga bagian tengah	
- Telinga bagian dalam	

Hal ini mengakibatkan tekanan yang cukup besar dari jaringan ke rongga udara. Bila udara tak dapat masuk ke dalam rongga ini untuk menyamakan tekanan seperti dalam jaringan, jaringan akan dipaksa masuk ke dalam rongga udara dan akan terjadi barotrauma (*"squeeze"*). Kerusakan yang biasanya terjadi adalah pembengkakan dari jaringan yang melapisi rongga tersebut. Ini terus bertambah sampai cairan dipaksa keluar dari pembuluh darah yang membengkak dalam jaringan dan dalam rongga udara tersebut. Akibatnya perdarahan karena pecahnya pembuluh-pembuluh darah dan ini menyebabkan berkurangnya isi dalam ruang udara (sehingga mengakibatkan naiknya tekanan yang sama seperti pada jaringan) dan rasa sakit akan berkurang. Proses ini menjelaskan terjadinya rasa sakit yang hebat sebelum terjadinya pendarahan, yang akan diikuti oleh berkurangnya gejala.

Barotrauma dapat terjadi pada waktu turun atau naik. Barotrauma waktu naik, mungkin diakibatkan barotrauma waktu turun atau mungkin dikarenakan udara bertekanan tinggi yang masuk ke dalam ruang udara pada waktu turun tidak bisa dikeluarkan pada waktu naik. Pada waktu naik akan terjadi perubahan tekanan dari udara bertekanan tinggi di dalam rongga tersebut sampai tekanan yang rendah di dalam jaringan dan pelepasan udara yang mendadak melalui saluran normal dapat terjadi.

A. Barotrauma Waktu Turun

Apabila saluran yang normal ke dalam rongga sinus tersumbat pada waktu turun, udara pernapasan dari hidung dan tenggorokan tidak akan dapat masuk ke dalam ruangan ini untuk mengimbangi tekanan jaringan. Akan terjadi pembengkakan dan perdarahan dari jaringan, sehingga menempati sebagian dari rongga udara untuk menyamakan tekanan. Pada waktu naik, darah dan lendir yang mungkin ada akan dikeluarkan secara paksa dengan terisinya kembali ruang tersebut oleh udara. Proses ini pada umumnya terjadi melalui saluran sinus yang pada mulanya tersumbat.

Sinus-sinus yang sering terserang dapat terlihat pada gambar 10.1. Semua sinus ini berhubungan dengan *nasopharynx* melalui saluran udara yang biasanya terbuka agar udara dapat masuk dan keluar, dan untuk mengeluarkan genangan cairan yang mungkin terdapat. Peselancar (*surfer*) mungkin pernah mengalami adanya air yang kadang-kadang keluar dari hidung bila ia membungkuk sesudah berenang. Ini adalah air yang dipaksa masuk ke dalam rongga sinus pada saat berselancar dan sekarang mengalir keluar melalui saluran tersebut.

Sumbatan pada saluran udara (atau ostia) dapat disebabkan oleh keadaan-keadaan berikut ini:

1. Sinusitis (infeksi atau alergi), yaitu pembengkakan dan kongesti jaringan menyebabkan hambatan mekanis.
2. Rinitis ("*hayfever*"), prosesnya sama seperti di atas.
3. Polip (pertumbuhan jaringan kecil yang dapat menutupi saluran sinus).
4. Lipatan jaringan yang berlebihan.
5. Sumbatan oleh lendir yang mengering.

Salesma atau radang saluran pernapasan bagian atas biasanya menyumbat saluran udara dan karenanya memengaruhi jalan pernapasan. Gangguan akan terjadi walaupun ada di permukaan. Bila sinus terganggu, rasa sakit dan sesak akan timbul di sekitar daerah yang terganggu, dan karena alur ke sinus jauh lebih kecil daripada saluran pernapasan, saluran lebih mudah tersumbat.

Jika penyelam turun dengan saluran sinus tersumbat, akan terasa sakit atau tertekan di sekitar sinus yang terganggu. Rasa sakit ini akan terus bertambah sampai terjadi perdarahan ketika tekanan dalam sinus sudah sama dengan tekanan jaringan dan rasa sakit berkurang. Waktu naik biasanya rasa sakit akan berkurang tetapi mungkin akan menetap selama beberapa jam. Darah atau lendir mungkin akan keluar dari hidung atau mulut dan sering ditemukan pada topeng muka (*face mask*).

Keadaan tersebut harus segera dilaporkan kepada seorang dokter untuk diperiksa dan diobati. Pengobatan biasanya dengan membebaskan saluran dan sumbatan dan bila perlu dengan antibiotik untuk mencegah infeksi, bersamaan dengan obat penahan sakit (analgetika) apabila diperlukan. Semua penyelaman dan penerbangan harus dihentikan dulu sampai gejala telah disembuhkan sepenuhnya dan faktor penyebabnya (infeksi, alergi, dll) telah diatasi.

Pemeriksaan sinar X dari sinus karena barotrauma waktu turun akan memperlihatkan pembengkakan jaringan dan bayangan dari cairan di dalam sinus yang terkena.

Cara terbaik adalah dengan tidak menyelam bila ada infeksi pada saluran napas bagian atas, infeksi sinus, atau sinusitis alergika (radang pada saluran napas yang disebabkan oleh alergi), atau rinitis (radang pada saluran hidung).

Perubahan bentuk yang disebabkan oleh pecahnya tulang hidung juga penyebab lain dari tersumbatnya saluran udara harus diperbaiki. Pemakaian dekongestan (obat untuk menghilangkan sesak pada saluran pernapasan), serta naik dan turun secara perlahan-lahan akan mengurangi terjadinya sinus barotrauma. Dekongestan semprot seperti "*Drixine*" harus dihindari karena dapat memperberat penyakitnya.

B. Barotrauma paru waktu turun ("*lung squeeze*")

Keadaan ini terutama terjadi pada penyelam tahan napas yang tidak menggunakan udara tekan untuk mengimbangi tekanan paru dan air. Kerusakan dari katup searah atau tidak adanya katup tersebut bisa mengakibatkan kelainan ini bila menyelam dengan SCUBA. Jika tidak terjadi keseimbangan tekanan antara tekanan gas pernapasan dengan tekanan air, akan terjadi selisih tekanan antara tekanan air (yang juga berarti tekanan jaringan) dengan tekanan paru-paru. Bila volume udara di paru mengecil hingga di bawah batas kritis,

akan terjadi kerusakan jaringan paru. Hal ini bisa terjadi jika suplai udara dari permukaan (hookah, alat selam standar atau tabung udara tekan) terhenti dan katup searah pada jalur udara tidak ada atau tidak bekerja. Turun terlalu cepat, seperti yang sering terjadi pada penyelam-penyelam dengan “*head hat*” yang terlalu berat, dapat juga mengakibatkan suplai udara kurang cepat untuk dapat mengimbangi kecepatan kenaikan tekanan air dan jaringan.

Selama penyelaman tahan napas, tekanan dalam paru-paru dipertahankan agar sama dengan tekanan jaringan dan tekanan air dengan berkurangnya volume rongga dada dan paru-paru sesuai dengan Hukum Boyle. Paru-paru bagaimanapun tidak dapat ditekan melebihi volume minimal tertentu dan akan terjadi pembengkakan jaringan, akumulasi cairan dan pendarahan. Akhirnya dinding dada bisa kolaps. Ada tiga faktor yang menentukan besarnya kedalaman Barotrauma pada waktu turun (*lung squeeze*) akan terjadi pada penyelaman tahan napas.

Volume sisa adalah volume udara yang tertinggal dalam paru-paru setelah pengembusan napas yang maksimal. Dalam keadaan ini volume dada hampir mencapai nilai minimal. Bila penyelam yang menahan napas turun, paru-paru akan tertekan dan diafragma akan bergerak naik sampai volume udara dalam rongga dada yang telah berkurang sesuai dengan hukum Boyle, sama dengan jumlah volume sisa. Tekanan air dapat sedikit lebih menekan dinding dada, tetapi kelenturan tulang dada akan mencegah berlanjutnya pengurangan volume rongga dada.

Jika penyelam terus turun, udara dalam paru-parunya akan terus tertekan dan ruangnya semula akan ditempati oleh darah yang berasal dari pecahnya pembuluh darah rongga dada. Bila batas daya pelebaran pembuluh darah rongga dada telah tercapai, pembuluh-pembuluh darah ini akan pecah dan udara yang mengerut dalam alveoli (kantong udara) akan diganti oleh darah dan cairan jaringan.

Pada akhirnya dinding dada akan kolaps. Kematian mungkin akan terjadi karena perdarahan paru-paru atau karena kolaps rongga dada.

Paru-paru yang normal volumenya kira-kira 6 liter. Karena volume sisa kira-kira 1,5 liter, penurunan volume paru 4 kali lipat, akibat tekanan pada paru-paru dapat dicapai dengan aman. Jumlah pasti dari volume minimal yang tersisa, yang jika dilampaui akan menyebabkan kerusakan pada paru, belum dapat ditentukan, tetapi diperkirakan kira-kira sebesar jumlah volume sisa yang normal. Besar kecilnya pelebaran pembuluh darah yang mungkin terjadi pada setiap orang menentukan batas akhir yang sebenarnya.

Pada kebanyakan orang batas penyelaman tahan napas yang aman adalah sekitar 4 ATA (30 meter). Penyelaman yang lebih dalam akan mengakibatkan bahaya kecuali jika ukuran-ukuran fungsi pernapasan seseorang diketahui dengan pasti. Penyelaman tahan napas yang melebihi 100 meter dapat dicapai oleh orang-orang yang diduga mempunyai volume total paru-paru yang amat besar, volume sisa yang amat kecil, dan mungkin pembuluh-pembuluh darah paru-paru yang dapat sangat melebar.

Data-data yang ada amat sedikit karena kasus-kasus seperti ini pada umumnya mengakibatkan kematian. Gejala yang diketahui antara lain sakit dada yang bertambah sesuai dengan kedalaman, batuk darah setelah naik ke permukaan, pembengkakan jaringan paru dan mengumpulnya cairan di dalam paru-paru. Kematian dapat langsung terjadi atau tertunda akibat pendarahan dan kerusakan jaringan paru atau infeksi.

C. Barotrauma tubuh ("*squeeze*")

Komplikasi ini hanya terjadi pada penyelam yang memakai helm keras pada alat selam standar. Jika turun terlalu cepat, atau jika ada kegagalan untuk memberi volume gas yang cukup kepada penyelam pada waktu turun, pakaian selam dan isinya mungkin akan tertekan ke arah helm ketika ruangan sudah sempit sekali.

Cedera yang hebat atau kematian dapat terjadi. Pencegahan berupa penggunaan “katup searah” dalam pipa saluran udara dan memastikan adanya sumber gas yang cukup untuk mengimbangi kenaikan tekanan pada saat turun.

Seorang penyelam dengan helm standar sedang bekerja pada sebuah tempat yang tergantung pada sisi kapal. Secara tiba-tiba ia tergelincir dan jatuh ke dalam air tanpa diketahui oleh penjaganya. Ketika ditarik ke permukaan, cedera yang didapatkan ternyata sangat fatal akibat masuknya tubuh penyelam itu secara dipaksakan ke dalam helm.

D. Barotrauma muka waktu turun (*face/mask squeeze*)

Cedera ini sekarang jarang terjadi karena masker dapat menutupi hidung dan mata, tapi masih dapat terjadi apabila udara tidak diembuskan ke dalam masker dari hidung untuk mengimbangi tekanan air di luar. Perbedaan tekanan yang timbul dapat mengisap jaringan muka yang longgar ke dalam masker.

Gejala biasanya meliputi rasa tertekan pada masker di sekitar muka sewaktu menyelam. Jaringan muka yang bengkak atau mengembang bisa terlihat sesudahnya. Yang paling terpengaruh adalah kelopak mata dan biasanya terjadi pembengkakan serta kemerahan (atau perdarahan) bagian putih mata. Keadaan ini akan sembuh dengan sendirinya dan jangan menyelam sampai semua kerusakan jaringan telah disembuhkan.

Udara harus diembuskan dari hidung ke dalam masker sewaktu turun ketika terasa adanya tekanan pada masker. Ini seolah-olah membuang udara percuma pada penyelaman tahan napas dan masker dengan kantung udara yang dapat pecah bila ada tekanan lebih disukai oleh penyelam tahan napas bayaran yang menyelam sangat dalam.

E. Barotrauma kulit

Keadaan ini sering terjadi pada pakaian selam kering, tetapi dapat pula terjadi pada pakaian basah yang kurang baik. Kantong kecil udara yang mempunyai tekanan permukaan, terjebak dalam lipatan-lipatan pakaian dan volume berkurang sesuai dengan Hukum Boyle.

Khususnya terjadi di sekitar sendi atau pada kerutan pakaian. Kulit cenderung untuk masuk ke dalam lipatan-lipatan tersebut untuk menggantikan udara yang berkurang dan ini akan menyebabkan rasa tidak enak.

Bengkak-bengkak atau bercak-bercak akan terlihat setelah pakaian dilepaskan di permukaan air. Biasanya tidak terasa sakit dan akan hilang dalam beberapa hari. Pakaian yang pas dan menghilangkan kerutan pada pakaian sebelum turun akan menghindarkan masalah ini.

F. Barotrauma gigi

Sering terdapat rongga udara kecil pada akar gigi yang infeksi atau di sekitar tambalan. Sewaktu turun rongga ini dipenuhi oleh jaringan lunak atau gusi ketika rongga udara mengerut dan terjadi keseimbangan, kadang-kadang dapat terjadi perdarahan dalam rongga tersebut.

Biasanya terasa nyeri dan rasa nyeri bisa bertambah sehingga penyelam tidak dapat terus turun. Rasa sakit yang sama dapat terjadi pada saat naik karena pengembangan udara ke volumenya semula terhalang oleh adanya darah dalam rongga udara.

Jenis lain dari barotrauma waktu turun bisa terjadi bila terdapat rongga udara atau rongga di bawah lapisan tipis email gigi pada gigi yang rusak. Tekanan dari luar sewaktu turun dapat menyebabkan gigi tertanam karena selisih tekanan antara gas dalam ruangan dengan tekanan dalam mulut dan jaringan lunak. Begitu pula jika gas masuk dan terjebak, ledakan sewaktu naik dapat terjadi. Rasa

sakit pada gigi sebelah atas dapat disebabkan oleh barotrauma sinus. Analgetika dapat meringankan rasa sakit sampai pengobatan oleh dokter gigi dapat dilakukan.

Lakukanlah pemeriksaan dan penyinaran X pada gigi secara teratur. Perbaikan gigi yang rusak harus dilaksanakan sebelum melakukan penyelaman.

G. Barotrauma telinga waktu turun ("*ear squeeze*")

Barotrauma telinga waktu turun merupakan penyakit penyelaman yang paling sering terjadi dan juga jenis barotrauma yang paling sering diderita oleh penyelam. Ini adalah penyebab utama dari ketidakcakapan dan mengakibatkan kegagalan yang terbesar dari penyelam pelajar.

Telinga terdiri dari tiga bagian utama, masing-masing dapat diserang secara sendiri-sendiri atau secara bersamaan oleh jenis barotrauma ini. Telinga bagian luar dan tengah terdiri dari rongga udara yang dibatasi oleh jaringan dan dikelilingi oleh tulang-tulang yang dapat menahan tekanan udara. Gendang telinga adalah selaput yang lentur dan peka yang memisahkan kedua bagian tersebut.

Telinga bagian dalam tidak mempunyai rongga udara. Terletak di antara tulang dan terdiri dari organ pendengaran dan keseimbangan yang berisi cairan serta dipisahkan dari telinga tengah oleh dua selaput tipis.

1. Barotrauma telinga luar ("*reversed ear*")

Karena saluran telinga bagian luar terbuka, air secara langsung menggantikan udara yang berkurang dalam saluran, menyebabkan hilangnya ketidakseimbangan tekanan. Jika jalan masuknya air terhambat sewaktu turun akan terjadi pembengkakan, penyumbatan dan perdarahan, bersama dengan menonjolnya selaput telinga luar.

Hal ini biasa terjadi pada kedalaman sedikitnya 2 meter (150 mmHg). Penyebab sumbatan telinga bagian luar yang tersering adalah kotoran telinga, penutup telinga, atau kerudung telinga yang terlampau ketat dan yang tidak mempunyai penyaluran udara untuk menjaga keseimbangan tekanan. Gejala biasanya ringan dan hanya menyebabkan sedikit kesulitan dalam melakukan ekualisasi telinga pada waktu turun. Setelah naik ke permukaan sumbatan atau hambatan dapat dihilangkan atau dikeluarkan, yang mengakibatkan keluarnya cairan atau perdarahan dari telinga.

Saluran telinga harus dibersihkan dengan hati-hati oleh dokter. Telinga harus selalu kering dan jangan menyelam sampai kondisi sudah baik. Pemakaian 20% hidrogen peroksida dapat mencegah komplikasi.

Jagalah agar saluran telinga selalu bersih setiap saat. Membersihkan kotoran telinga dengan jalan penyemprotan, pemakaian penutup telinga pada saat menyelam dan penggunaan kerudung dengan salur udara yang baik untuk menjaga keseimbangan tekanan pada telinga akan mencegah terjadinya kelainan ini.

2. Barotrauma telinga tengah

Merupakan jenis yang paling sering terjadi dari barotrauma telinga yang disebabkan oleh sumbatan pada tuba *Eustachius*, tuba *Eustachius* yang menyebabkan tekanan pada ruang udara di telinga tengah sama dengan tekanan udara dalam tenggorokan. Karena tekanan ini sama dengan tekanan air di luar, tekanan di telinga tengah akan sama dengan tekanan air di sekelilingnya.

Pada saat turun, perasaan tertekan atau tak enak akan dirasakan oleh hampir semua penyelam bila tekanan air dan tekanan telinga bagian tengah berbeda antara 2-5 mmHg. Keseimbangan biasanya akan terjadi karena udara masuk ke

dalam telinga tengah dari tenggorokan melalui tuba *Eustachius*, yaitu dengan cara melakukan prosedur *Valsava* (meniup dengan hidung dan mulut tertutup), menguap atau menggerakkan rahang. Menelan juga bisa mencapai hasil yang sama dengan cara meluruskan dan membuka tuba *Eustachius*.

Jika karena sesuatu hal tuba *Eustachius* tersumbat pada waktu turun, pembengkakan jaringan dan penyumbatan dalam telinga tengah akan terjadi. Perdarahan ke dalam rongga telinga bagian tengah akhirnya akan terjadi dan ini secara sebagian mengimbangi tekanan luar. Gendang telinga akan menonjol ke arah dalam dan mungkin pecah.

Gejala awal berupa perasaan tertekan yang diikuti oleh rasa sakit pada telinga yang terkena. Semakin turun, rasa sakit akan bertambah. Pada umumnya kesulitan ditemukan pada kedalaman 10 meter pertama karena meningkatnya tekanan sampai dua kali lipat pada kedalaman ini. Jika gendang telinga pecah, rasa sakit akan diikuti dengan masuknya air dingin ke dalam telinga yang terkena. Rasa sakit biasanya akan berkurang, tetapi penyelam akan mengalami rasa pening selama beberapa menit disebabkan oleh rangsangan panas terhadap organ keseimbangan dalam telinga bagian dalam pada sisi yang terserang.

Untunglah hal ini akan cepat teratasi setelah air dingin yang ada di dalam rongga telinga dengan cepat dihangati dengan suhu tubuh. Kadang-kadang akan terasa air dingin pada belakang tenggorokan setelah mengalir dari tuba *Eustachius* pada telinga yang terserang.

Pada saat ke permukaan, penyelam sering mengeluh adanya rasa penuh di dalam telinga, bersamaan dengan rasa nyeri tumpul dan sedikit ketulian. Sedikit perdarahan dari hidung atau mulut mungkin terjadi. Suara ketukan mungkin terdengar pada telinga jika sedang berbicara atau makan. Usaha untuk membersihkan

telinga di permukaan biasanya gagal dan sering kali memperberat rasa sakit.

Tuli, pening, dan suara mendenging dalam telinga yang disebabkan oleh barotrauma telinga merupakan hal yang serius dan harus segera dikonsultasikan kepada dokter yang berpengalaman dalam bidang ini. Dengan pemeriksaan telinga biasanya akan diketahui penyebab dan tingkat beratnya cedera. Gendang telinga mungkin akan terlihat berdarah dan tersumbat, dan lubang kecil atau robekan mungkin terlihat.

Istirahat dengan cara menghindari penyelaman, penerbangan, dan melakukan manuver *Valsava* harus dilaksanakan sampai pulih sama sekali. Ini mungkin memakan waktu sampai satu minggu. Pendengaran harus diperiksa pada kasus yang berat dan mungkin harus diulang beberapa kali. Lubang kecil dan biasanya menutup dengan sendirinya dalam waktu 4-8 minggu, tetapi perlu kontrol lebih lanjut untuk memastikan bahwa pemulihan sudah cukup sebelum melakukan penyelaman selanjutnya.

Dokter dapat memberikan dekongestan atau antihistamin atau keduanya karena obat-obat tersebut dapat mempercepat proses pemulihan. Antibiotik diperlukan pada kasus yang berat di mana terdapat perdarahan atau perforasi gendang telinga.

Penyelam harus dapat melakukan ekualisasi telinga dengan mudah sebelum memulai penyelaman. Kebanyakan penyelam dapat melakukannya dengan cara melakukan prosedur *Valsava* di permukaan, yaitu dengan jalan meniup dengan mulut dan hidung tertutup. Jika diperlukan tenaga atau jika terdapat kesulitan pada tiap kedalaman waktu menyelam, penyelam harus segera menghindarkan penyelaman lebih lanjut atau ia harus segera naik pada kedalaman ketika telinga terasa enak. Penyebab sumbatan tuba *Eustachius* antara lain karena infeksi pada telinga bagian tengah.

Jarang sekali sumbatan mekanis atau kelainan bawaan dapat menyebabkan tertutupnya tuba *Eustachius*. Prosedur *valsava* yang tepat amat penting dan semua penyelam harus dilatih secara teratur agar dapat melakukan prosedur ini dengan baik. Kombinasi dari meniup dengan hidung tertutup dan menjaga agar mulut tetap rapat akan lebih berhasil jika sekaligus menelan pada waktu yang sama. Semua faktor penyebab sumbatan yang ada harus diatasi secara medis sebelum menyelam, dan jangan turun dengan cepat bagi penyelam yang belum berpengalaman. Penyelam tahan napas sering mengalami gangguan ini karena mereka menghemat udara dan turun dengan secepat mungkin.

3. Barotrauma telinga bagian dalam

Gangguan yang serius ini biasanya merupakan komplikasi dari barotrauma telinga luar dan tengah, tetapi juga karena “prosedur *Valsava*” yang terlalu kuat. Walaupun akibatnya sudah lama diketahui tapi hanya baru-baru ini ditemukan sebab dan sifat dari cedera sehingga pengobatan baru dapat diberikan.

Selama turun, tekanan diantarkan melalui satu rangkaian tulang-tulang dari gendang telinga ke telinga bagian dalam. Ada dua lubang (jendela) kecil pada dinding tulang dari telinga bagian dalam yang menghadap ke rongga telinga bagian tengah dan lubang tersebut diliputi oleh selaput tipis. Rangkaian tulang melekat pada selaput yang menutupi salah satu jendela tersebut (jendela oval). Di belakang jendela-jendela terletak alat pendengaran dan alat keseimbangan yang terisi oleh cairan. Tekanan pada jendela oval cenderung untuk menyebabkan aliran.

Cairan melalui alat-alat/organ-organ ini mengakibatkan jendela lainnya (selaput jendela bundar) menonjol ke luar. Jika tekanan ini terlalu cepat atau terlalu kuat, selaput jendela bisa pecah dari dalam. Jika prosedur *Valsava* dilakukan terlalu kuat, aliran balik mungkin akan terlalu lambat untuk menghindari

kerusakan selanjutnya dan kemungkinan robeknya selaput jendela yang telah menonjol. Begitu pula jika seorang penyelam menambah kekuatan untuk melakukan prosedur *Valsava*, tekanan cairan tulang belakang di dalam otak dan tulang belakang akan bertambah. Ada hubungan antara cairan ini dengan telinga bagian dalam dan mungkin juga tekanan yang bertambah akan diteruskan ke telinga bagian dalam yang menyebabkan pecahnya jendela bulat.

Komplikasi lain bisa berupa kerusakan gendang telinga, terlepasnya rangkaian tulang dari selaput jendela oval, saraf dalam alat pendengaran rusak, atau pecahnya selaput jendela bulat karena kehilangan cairan dari alat pendengaran dan alat keseimbangan.

Rasa penuh atau sumbatan dalam telinga, ketulian ringan (bersifat sementara), atau ketulian yang lebih berat dapat terjadi secara langsung atau tertunda sampai beberapa hari. Ketulian berat cenderung untuk menjadi permanen dan tak dapat kembali, kecuali jika diobati seorang ahli. Suara mendering dan mendenging dalam telinga mungkin timbul, bersama dengan berbagai derajat gangguan keseimbangan, seperti rasa pening (*vertigo*), disorientasi dan tak dapat barjalan lurus (ini jangan dikacaukan dengan kondisi sementara lainnya yang disebabkan oleh keracunan alkohol).

Kelainan-kelainan ini menyebabkan bertambahnya kerusakan yang diakibatkan barotrauma yang berulang-ulang, dan cacat yang berat dapat terjadi. Penilaian secepatnya oleh seorang dokter berpengalaman dalam bidang ini harus dilaksanakan. Tes pendengaran yang lengkap dan tes khusus keseimbangan perlu dilakukan untuk menilai dengan saksama luas dan letak cedera. Pembedahan, jika diperlukan, harus dilaksanakan secepat mungkin untuk menutup kebocoran cairan melalui jendela bulat yang pecah dari alat pendengaran dan keseimbangan.

Beberapa pembedahan yang pernah dilakukan terhadap penyelam-penyelam di Australia telah dibuktikan berhasil, tetapi ini hanya dimungkinkan dengan pemeriksaan yang hati-hati dan teliti oleh personel yang terlatih. Pengobatan lainnya berupa istirahat dan pemakaian obat untuk melawan rasa pening atau mual. Penyelam yang telah mengalami cedera ini sebaiknya tidak menyelam lagi.

4. Barotrauma waktu naik

a. Barotrauma paru waktu naik ("*burst lung*")

Hukum Boyle berlaku untuk gas-gas bertekanan baik pada waktu naik maupun waktu turun. Karena penyelam menghirup gas sewaktu di dalam air, pada waktu naik gas-gas ini akan mengembang karena penurunan tekanan air dan tekanan gas. Biasanya tekanan gas dalam paru-paru disamakan dengan tekanan air di sekitarnya dengan mengembuskan gas yang mengembang pada waktu naik. Jika gas-gas ini tidak cukup banyak *divenitiation*, paru-paru akan terlalu mengembang dan pecah.

Paru-paru normal akan dapat menahan tekanan hingga kira-kira 80 mmHg tanpa bahaya. Jika perbedaan tekanan antara paru-paru dan air melampaui batas ini, paru-paru bisa pecah. Oleh karena itu penyelam bisa pecah paru-parunya jika naik hanya dari 1,3 meter (tekanan air 98 mmHg) ke atas permukaan tanpa menghembus udara, apalagi jika mengambil napas dalam sebelum naik. Orang-orang tertentu, termasuk mereka yang mempunyai riwayat penyakit infeksi dada yang kronis, penyakit asma dan lain-lain, mempunyai paru-paru yang akan pecah pada tekanan yang lebih rendah, dan mereka menghadapi risiko yang lebih besar.

Penyelam yang normal pada kedalaman 10 meter biasanya menahan sekitar 6 liter udara dalam paru-parunya.

Untuk tiba di atas permukaan dengan paru-paru penuh tapi tidak terlalu mengembang, ia harus mengembungkan 6 liter gas selama naik. Sayangnya, pengembusan sering kali tidak cukup dikarenakan panik, sumbatan di dalam paru-paru atau terlalu cepat naik. Keadaan ini sering terjadi pada waktu latihan naik bebas, naik bebas darurat, dsb. Kadang-kadang paru-paru penyelam bisa pecah sewaktu naik secara normal.

Paru-paru seorang penyelam bagaikan balon yang elastis. Jika terlalu kembung dan daya elastik dilampauinya, paru-paru itu akan pecah. Bila jaringan paru-paru pecah ada empat akibat yang dapat terjadi secara tersendiri atau secara bersamaan.

1) Kerusakan jaringan paru-paru.

Pecahnya jaringan secara meluas dapat terjadi bila penyelam naik ke permukaan tanpa cukup banyak mengembuskan udara. Robekan yang luas dan perdarahan dalam paru-paru bisa cepat mengakibatkan kematian.

Sering terdapat jeritan yang khas yang disebabkan oleh pelepasan yang cepat dari gas yang mengembang melalui pita suara pada saat naik ke permukaan. Sesak napas, batuk (sering dengan dahak yang berdarah), sakit dada dan *cyanosis* (kebiruan) sering didapatkan. *Shock* diikuti dengan tidak sadarkan diri serta kematian dapat terjadi jika tidak dilakukan pengobatan.

Berikan 100% oksigen lewat masker tanpa pernapasan bertekanan positif (kecuali sangat diperlukan untuk mempertahankan kekurangan). Rawat korban di rumah sakit untuk perawatan jantung dan pernapasan yang lebih memadai. Sayangnya, kebanyakan kasus jenis ini meninggal sebelum dapat dilakukan pertolongan medis.

2) *Surgical* empiema

Akibat dari pecahnya kantung-kantung udara dalam paru-paru yang sangat kecil, napas akan masuk ke dalam jaringan-jaringan di sekitar paru-paru sendiri, dan akan berjalan di sepanjang jaringan-jaringan longgar di sekitar pembuluh-pembuluh darah ke dalam bagian dada yang terletak di antara paru-paru tulang dada dan tulang belakang, yaitu mediastinum mediastinu. Terdiri dari batang tenggorokan, jantung dan pembuluh-pembuluh darah besar. Ia dipisahkan dari perut oleh sekuat rongga dada dan berhubungan dengan leher yang terletak di atasnya. Sekali udara mencapai mediastinu, beberapa akibat akan muncul.

Pada kasus yang berat, kelainan dapat langsung terjadi, sedangkan pada kasus yang ringan, bisa tertunda selama beberapa jam. Gejala-gejala utama berupa perubahan suara tenggorokan terasa penuh, napas pendek dan sukar menelan. Rasa sakit di belakang tulang dada (*sternum*), *shock* (*cyanosis*, denyut nadi cepat, tekanan darah rendah) dan tidak sadarkan diri, mungkin pula terjadi.

Pemeriksaan mungkin menunjukkan adanya empiema di bawah kulit leher atau dinding dada sebelah atas. Penilaian seorang ahli medis sangat penting untuk mengetahui berapa jauh dan parahnya kerusakan. Ini termasuk pemeriksaan sinar-X pada dada dan leher.

Pengobatan tidak selalu perlu segera dilaksanakan, tetapi karena cedera ini sering berhubungan dengan emboli udara, pertolongan medis dari seorang ahli harus dicari secepat mungkin, apalagi pada kasus yang berat. Jika ada keraguan, pengobatan untuk emboli udara harus

dilakukan. Biasanya pengobatan emfisema di bawah kulit yang ringan (tanpa gejala) hanya berupa istirahat di rumah sakit sampai semua kelainan sudah hilang. Pemberian 100% oksigen, tanpa pernapasan bertekanan positif akan membantu pengeluaran gas dari jaringan-jaringan dan akan mengurangi kesesakan napas.

Rekompresi terapi di dalam ruang hiperbarik mungkin diperlukan pada kasus-kasus berat. Kadang-kadang pengeluaran udara dengan jalan pembedahan kantung-kantung udara yang letaknya diketahui dengan baik juga diperlukan.

3) *Pneumothorax* (udara dalam rongga dada)

Kelainan ini diakibatkan oleh pecahnya paru-paru dekat permukaan paru-paru sendiri. Udara dalam tempat ini dilepaskan ke dalam rongga dada (rongga pluera) dan menyebabkan kolaps paru-paru. Bila terus naik akan menyebabkan udara semakin mengembang dan akan memperberat kolaps jantung. Perdarahan ke dalam rongga dada dapat pula terjadi. Keadaan ini lebih mudah terjadi apabila ada udara terjebak dalam suatu bagian paru-paru, atau bila jaringan-jaringan paru-paru lemah atau rapuh misalnya pada orang-orang yang mempunyai riwayat penyakit atau yang sedang menderita, keadaan-keadaan seperti kista paru, *asthma* atau emfisema. Riwayat pneumothorax spontan (yang tak berhubungan dengan penyelaman), pernah menderita TBC, fibrosis, pembesaran kelenjar limpa dalam paru pelekatan selaput rongga dada, pneumonia atau pleuritis, operasi paru-paru atau jantung, dll, dapat menyebabkan seseorang terserang kelainan ini. Kadang-kadang bisa disertai emfisema mediastinum.

Biasanya mendadak dan berupa sakit dada sebelah yang tiba-tiba, napas pendek, *cyanosis* dan mungkin *shock*, seperti pada kasus empisema mediastinum. Jika terjadi dalam air, gas akan terus mengembang, menyebabkan kerusakan yang lebih parah bahkan mungkin kematian, sebelum penyelam mencapai permukaan tergantung pada beratnya gejala. Jika ada keraguan, penyelam harus segera diobati seperti pada emboli udara. Foto rontgen dada harus dilakukan pada semua kasus. Kasus yang ringan hanya memerlukan perawatan di rumah sakit, bernapas 100% oksigen dengan masker (tanpa pernapasan bertekanan positif) dan fisioterapi. Kasus-kasus yang lebih berat memerlukan pengeluaran udara dari rongga dada dengan cara pembedahan. Jika dilakukan rekompresi terapi sebagai pengobatan terhadap emboli udara yang juga terdapat, berkurangnya penyakit akan terlihat segera tetapi keadaan bisa memburuk pada waktu naik dan udara rongga dada harus dikeluarkan karena adanya kemungkinan pengembangan udara kembali pada waktu naik.

4) Emboli udara

Emboli udara adalah keadaan yang paling berbahaya dari pecahannya paru-paru dan dapat menyebabkan kerusakan otak yang berat dalam beberapa menit. Setiap pecahnya paru-paru dapat melepaskan gas ke dalam jaringan paru-paru dan dapat juga berakibat pecahnya pembuluh-pembuluh darah yang lebih kecil, yang bertugas mengembalikan darah yang mengandung oksigen dari paru-paru ke jantung dan kemudian ke bagian tubuh lainnya. Setelah korban naik ke permukaan dan udara dari paru-paru diembuskan dengan paksa, jaringan paru-paru akan kembali mengempis. Ini dapat

menyebabkan gelembung gas memasuki pembuluh darah yang pecah tersebut dan kemudian akan dibawa ke jantung. Dari jantung akan dibawa oleh darah ke otak (apalagi karena akibat daya tarik bumi), jantung, hati, ginjal, atau anggota tubuh lainnya. Pada saat mencapai organ-organ vital ini, gelembung mungkin akan menyumbat pembuluh darah yang lebih kecil yang merupakan suplai dari berbagai bagian organ tersebut, serta mengambil darah bersih dari bagian-bagian tersebut, sehingga jaringan-jaringan dari daerah-daerah ini akan mati atau rusak selamanya. Kematian mungkin akan dengan cepat terjadi dalam kasus-kasus yang mengenai jantung atau otak. Sedikit saja volume gas (beberapa ml) sudah dapat menyebabkan kelainan yang berat.

Adanya emboli udara sering menyebabkan jeritan kuat yang khas karena pengembusan yang tiba-tiba pada saat di permukaan. Ini dapat langsung terjadi atau dalam beberapa menit kemudian, disusul oleh perasaan pening, kesulitan untuk bicara, gangguan penglihatan atau rasa pusing. Kelemahan otot, mati rasa atau kelumpuhan, kejang, (seperti ayan), *shock*, ketidak-sadaran diri atau kematian dapat segera menyusul. Kadang-kadang dada terasa sakit dan batuk-batuk. Gejala-gejala empisema mediastinum dapat pula terlihat.

Pengobatan harus segera dilakukan. Ini harus diberikan prioritas utama dibandingkan dengan pengobatan untuk keadaan lainnya dan memerlukan recompresi secepatnya di dalam ruang hiperbarik. Pengobatan berupa penekanan ke 6 ATA (50 meter) untuk mengurangi ukuran gelembung sampai 1/6 dari

volumenya. Ini berarti bahwa lebih sedikit pembuluh darah dalam otak yang akan tersumbat. Pengurangan tekanan udara secara perlahan sesuai dengan tabel pengobatan (misalnya RAN, tabel 5C), sambil bernapas dengan oksigen kadar tinggi, dapat dimulai setelah penyelam pulih kesadarannya. Tindakan pertolongan kedaruratan baik pernapasan dan aliran darah, mungkin diperlukan sebelum dan selama pengobatan dalam ruang. Pertama 100% oksigen harus diberikan jika tersedia tanpa tekanan positif. Jika ruang kompresi tidak ada, pasien harus dibaringkan dalam posisi sebelah kanan di bawah mungkin lebih baik. Proses ini akan menghindarkan emboli udara yang mengenai otak dengan jalan menetralkan akibat daya tarik bumi.

b. Barotrauma Gastrointestinal waktu naik

Selama suatu penyelaman, udara tekan yang jumlahnya cukup banyak mungkin tertelan oleh penyelam dan pada waktu kembali ke permukaan gas-gas ini mengembang di dalam usus. Minum-minuman berbusa sebelum menyelam menambah problem ini dan dapat mengakibatkan banyak sekali gas keluar dari mulut dan anus. Rasa tak enak pada perut dan rasa mulas biasanya tidak berat tapi dapat menyebabkan penderitaan, lebih-lebih bagi penyelam yang belum berpengalaman. Muntah dapat terjadi setelah naik ke permukaan.

Keadaan ini paling baik diatasi dengan cara naik secara perlahan-lahan atau berhenti dulu pada suatu kedalaman tertentu sebelum naik lagi turun lebih dalam sedikit mungkin perlu untuk mengurangi rasa tak enak. Menghindari makan besar atau minum minuman bersoda 4-6 jam turun dengan posisi berdiri bisa membantu menghindarkan keadaan ini,

karena dengan posisi tersebut jumlah gas yang tertelan ke dalam lambung sewaktu turun akan berkurang.

c. Barotrauma gigi waktu naik

Ini dapat diakibatkan barotrauma gigi waktu turun dengan perdarahan ke dalam rongga udara di dalam gigi. Pada waktu naik, mengembangnya udara dalam ruang terisi udara yang padat dapat menimbulkan rasa sakit yang berat. “Ledakan” pada gigi yang rusak dengan semen tipis dapat terjadi apabila naik terlalu cepat.

Pengobatan berupa perbaikan gigi dan pemberian analgetik. Pemeriksaan gigi yang teratur sebelum menyelam dianjurkan untuk menghindari gangguan tersebut.

d. Barotrauma sinus waktu naik

Sering kali diakibatkan barotrauma sinus waktu turun. Akan tetapi kadang kal aliran udara ke dalam sinus bisa tersumbat hanya selama naik oleh pertumbuhan kecil atau lapisan jaringan. Ini dapat menghambat keluarnya gas yang mengembang pada waktu naik dan mengakibatkan kerusakan jaringan. Rasa sakit biasanya ringan, kecuali jika sebelumnya ada barotrauma waktu turun. Naik terlalu cepat dapat mempererat gejala. Berhenti sebentar atau turun sebentar, kemudian naik perlahan-lahan, mungkin perlu dilakukan.

Pemeriksaan pada sinus oleh ahli medis amat diperlukan bila pada kelainan seperti itu. Dekongestan serta antibiotik mungkin perlu diberikan.

e. Barotrauma telinga pada waktu naik.

Cukup sering terjadi pada penyelaman dan sering kali menyerang penyelam yang menderita sakit kepala yang ringan sebelum menelan sewaktu turun mungkin tidak akan terjadi apa-apa atau hanya terjadi sedikit kesulitan sewaktu melakukan keseimbangan tekanan.

Pada waktu naik, tuba *Eustachius* yang merupakan saluran dari telinga bagian tengah ke pangkal tenggorokan akan tersumbat, sehingga akan menghalangi pelepasan gas. Sudah bisa bagi penyelam untuk menggunakan *decongestan* sebelum turun ke air.

Rasa tertekan atau sakit di telinga yang terserang mungkin terjadi dan kerusakan gendang telinga atau rangkaian tulang di dalam ruang telinga bagian tengah akan menyusul.

Rasa pening atau mabuk (*vertigo*) biasanya terjadi karena adanya rangsangan pada alat keseimbangan akibat tekanan yang terlalu besar. Ini kadang-kadang disebut "*alternobaric Vertigo*".

Setelah menyelam ketulian dapat terjadi dan kemungkinan akibat barotrauma telinga bagian dalam akan menjadi jelas. Pemeriksaan yang lebih teliti akan memastikan penyebabnya.

Untungnya gejala-gejala biasanya ringan dan tidak lama, tetapi kegiatan penyelaman harus dihentikan sampai gendang telinga kembali normal dan akibat-akibat lainnya (pening, hilang pendengaran, dsb) telah menghilang. Antibiotik dan *decongestan* dapat diberikan. Penilaian selanjutnya diperlukan jika terjadi gejala-gejala berulang-ulang. Ini membutuhkan fasilitas tes yang khusus dalam keadaan hiperbarik dan jika ini tak dapat dilaksanakan dan penyebabnya tak dapat diperbaiki penyelaman tak boleh dilakukan.

G. Akibat-akibat lain dari Barotrauma

Ketika gas yang bertekanan tinggi langsung bersentuhan dengan jaringan-jaringan yang robek atau pecah, gas-gas ini dapat memasuki berbagai jaringan dan menyebar di bawah pengaruh tekanan. Ini dapat dilihat penyelam-penyelam yang baru saja dicabut giginya ketika gas bertekanan memasuki jaringan longgar pada gusi dan pipi dan kemudian menyebar hingga menyebabkan emfisema setempat.

Dalam kasus ini jaringan akan membengkak dan terasa sakit. Pada pemeriksaan teraba sensasi retak yang sama seperti empisema di bawah kulit yang diakibatkan oleh pecahnya paru-paru. Gangguan ini biasanya muncul sewaktu turun dan sesuai dengan hukum Boyle akan memburuk sewaktu naik. Kerusakan yang sama menyebabkan empisema pada jaringan-jaringan longgar di sekitar mata yang terjadi pada penyelam yang matanya biru sehabis berkelahi.

Dalam kasus ini gas bertekanan tinggi dalam *nasopharinx* dipaksakan masuk melalui pecahnya sinus atau robekan kulit dan memasuki jaringan longgar di sekitar mata akibat tekanan yang bertambah karena prosedur *Valsava*.

Pengobatan amat mudah. Pengurangan rasa sakit dengan analgetik dan istirahat dapat menghasilkan pengisapan kembali semua gas dalam waktu 12-24 jam. Menghirup 100% oksigen dengan masker akan mempercepat proses ini.

Dapat dicapai dengan jalan menghindari penyelaman dengan udara bertekanan sewaktu ada kerusakan jaringan yang mungkin bersentuhan dengan gas di bawah tekanan. Gangguan ini akan terus terjadi selama menyelam sampai kerusakan pada jaringan sudah baik sama sekali.

Bab XI

Penyakit Dekompresi

A. Penyebab Penyakit Dekompresi

Penyelam cenderung untuk membentuk gelembung yang berlebihan dalam tubuh jika tidak tenang dan melakukan dekompresi yang terlalu cepat. Penyakit dekompresi timbul sebagai akibat dari dekompresi yang tidak mencukupi. Kebanyakan kasus terjadi dalam waktu 6 jam walaupun sehabis penyelaman yang dalam dan lama, gejala-gejala dapat timbul sewaktu naik.

Telah dijelaskan dalam bab-bab sebelumnya bahwa pada penyelaman dengan udara tekan, tekanan parsial nitrogen yang dihirup akan bertambah, sesuai dengan Hukum Henry, akan lebih banyak gas terlarut dalam darah dan jaringan. Jika 1 liter nitrogen terlarut dalam tubuh seorang penyelam pada permukaan, pada kedalaman 20 meter (3 ATA), ia menyerap 3 liter nitrogen.

Nitrogen yang berlebihan itu oleh darah didistribusikan ke jaringan-jaringan sesuai dengan kecepatan aliran darah ke jaringan tersebut serta daya gabung jaringan terhadap nitrogen. Jaringan lemak mempunyai daya gabung nitrogen yang tinggi dan melarutkan lebih banyak nitrogen daripada jaringan-jaringan lainnya.

Jaringan-jaringan dapat digolongkan menurut waktu yang diperlukannya untuk menyerap nitrogen dan mencapai tahap keseimbangan atau kejenuhannya dengan darah. Jaringan-jaringan

yang dapat mengimbangi dengan cepat disebut “jaringan-jaringan cepat”, sedangkan yang mengimbangi dengan lambat disebut “jaringan-jaringan lambat”. Darah adalah jaringan yang tercepat karena ia mengisap nitrogen langsung dari paru-paru dan mencapai keseimbangan dalam waktu beberapa menit. Otak juga merupakan jaringan cepat karena suplai darahnya yang banyak. Jaringan-jaringan seperti tulang rawan, yang membatasi permukaan-permukaan sendi, mempunyai suplai darah yang buruk dan oleh sebab itu memerlukan waktu beberapa jam untuk mencapai keseimbangan. Konsep jaringan cepat dan lambat penting untuk pengertian dekompresi dan akibatnya yang berhubungan.

Ketika penyelam mulai naik dan tekanan gas turun, terjadi kebalikan dari proses yang memenuhi tubuh dengan nitrogen. Tekanan parsial nitrogen yang rendah dalam paru-paru selama naik menyebabkan darah melepaskan nitrogen kembali ke dalam paru-paru karena sekarang tekanan parsial nitrogen lebih tinggi ada dalam darah dan bukan dalam kantung paru-paru. Begitu pula jaringan-jaringan lainnya melepaskan nitrogen kembali ke dalam darah, dengan jaringan-jaringan cepat melepaskan nitrogen paling cepat. Proses ini berlangsung selama beberapa jam karena jaringan-jaringan lambat melepaskan nitrogen dengan perlahan-lahan dan tubuh memerlukan 24 jam atau lebih untuk menghilangkan semua nitrogen yang berlebihan.

Jika dekompresi terlalu cepat, nitrogen tak dapat meninggalkan jaringan-jaringan dengan cepat dan teratur seperti yang dilukiskan. Seperti pada botol minuman ringan (atau bir) memberikan gambaran yang sama.

Karbon dioksida terlarut dalam minuman dengan tekanan yang tinggi dan tekanan dalam botol dipertahankan oleh tutup botol. Jika tutup dibuka, tekanan akan berkurang dan terjadi gelembung gas dalam cairan. Gelembung-gelembung akan terjadi dalam cairan bila

tekanan parsial gas terlarut ini melampaui tekanan di atas cairan tersebut.

Jika tekanan parsial gas dalam jaringan-jaringan tubuh penyelam yang melakukan dekompresi dibiarkan melebihi tekanan di sekitarnya, akan timbul gelembung dalam jaringan. Pembentukan gelembung dibantu oleh gerakan gerakan (kocok birmu sebelum dibuka dan lihat hasilnya!) dan dengan latihan yang menyebabkan terdapatnya daerah dalam jaringan yang tekanannya untuk beberapa saat berkurang. Sekali gelembung sudah terbentuk, ia akan membesar karena makin banyak nitrogen yang masuk dari jaringan di sekitarnya dan makin mengembang sesuai dengan hukum Boyle. Teknik-teknik khusus sekarang menunjukkan bahwa kebanyakan penyelam mempunyai gelembung kecil dalam darah mereka selama dekompresi. Untunglah, ini biasanya tidak menimbulkan gejala.

Cara menyelam memengaruhi daerah pembentukan gelembung nitrogen dan juga gejala dari penyakit dekompresi. Penyelaman yang singkat dan dalam, misalnya 5 menit ke 60 meter, menghasilkan beban nitrogen yang tinggi pada jaringan-jaringan cepat tetapi tidak cukup waktu untuk pembebanan yang besar oleh jaringan-jaringan lambat. Jika terbentuk gelembung-gelembung selama naik, gelembung akan terbentuk dalam darah bahkan lebih mungkin terjadi karena tidak cukupnya waktu bagi paru-paru untuk membersihkan darah dari nitrogen. Kecepatan naik standar sebesar 20 meter/menit adalah terlalu pada situasi ini. Pada penyelaman jenis ini mungkin lebih menguntungkan jika menghabiskan lebih sedikit waktu di dasar dan menggunakan waktu tersebut untuk naik lebih perlahan (yaitu 10 meter/menit).

Penyelaman yang lama ke tempat yang lebih dangkal akan memberikan nitrogen lebih banyak kepada jaringan-jaringan lambat. Jumlah yang sama akan juga terjadi pada jaringan-jaringan cepat, tetapi karena perbedaan tekanan antara kedalaman dan permukaan

air tidak begitu besar, darah mungkin mampu mentoleransi kelebihan nitrogen tersebut, sampai dapat dikeluarkan melalui paru-paru. Bentuk penyelaman jenis ini cenderung untuk menimbulkan “*bends*” pada persendian, karena sendi adalah jaringan lambat dan tidak dapat melepaskan nitrogen dengan cepat.

Dahulu penyakit dekompresi dibagi dalam dua kategori. Tipe I didefinisikan sebagai rasa sakit pada persendian dan tipe II mencakup semua manifestasi lainnya. Tipe I dapat digolongkan ringan, sedangkan tipe II berat. Walaupun demikian, gejala-gejala tipe II berkisar dari sedikit kehilangan perasaan sampai ketidaksadaran dengan kelumpuhan total. Pembagian golongan ini sudah tidak sesuai lagi dan telah ketinggalan zaman.

Klasifikasi yang lebih dapat diterima adalah pengelompokan dari manifestasi menurut bentuk-bentuk tubuh yang terserang, misalnya *cerebral* (otak) atau sumsum tulang belakang, dll. Penyakit dekompresi terjadi beberapa saat setelah penyelam mulai naik. Pada kebanyakan kasus gejala terjadi dalam 6 jam, yang tersering terjadi dalam 1 jam pertama. Gejala-gejala dapat timbul setelah 24 jam. Perbedaan yang penting dari bentuk penyelaman masing-masing kelompok menjelaskan perbedaan dari gambaran tersebut. Penyelam Hawaii umumnya melakukan penyelaman dalam, naik dengan cepat, dan mengabaikan prosedur dekompresi. Kebanyakan dari penyelam ini mengalami gejala-gejala dalam waktu 1/2 jam karena cara menyelam yang mereka lakukan lebih memudahkan terjadinya gelembung-gelembung dalam darah, baik yang disebabkan emboli udara ataupun penyakit dekompresi, menyebabkan gejala-gejala berat yang terjadi dengan cepat.

Penyelam-penyelam angkatan laut sering melakukan penyelaman saturasi dan penyelaman yang bersifat eksperimental, mereka melakukan dekompresi dengan hati-hati. Namun sering terbentuk gelembung-gelembung dalam “jaringan lambat” yang kelak bisa menimbulkan gejala.

1. Sakit pada persendian

Gejala penyakit dekompresi yang paling sering ini telah menciptakan sebuah nama yang bersifat ungkapan untuk penyakit ini, yakni "*bends*". Pada mulanya mungkin hanya berupa rasa kaku atau tak enak yang sukar dilukiskan di sekitar persendian atau otot-otot sekitar. Mula-mula, gerakan-gerakan anggota tubuh mungkin meringankan sakit tetapi pada jam-jam berikutnya rasa sakit yang sangat dan tak enak muncul, kadang-kadang berupa rasa sakit tertusuk-tusuk atau berdenyut-denyut. Gerakan akan memperberat rasa sakit dan anggota badan berada dalam posisi yang paling enak biasanya pada posisi miring. Rasa sakit sering bertambah setelah 12-24 jam. Jika tidak diobati, biasanya akan reda dalam waktu 3-7 hari akan berubah menjadi rasa sakit yang tumpul. Terlihat kemerah-merahan dan bengkak di sekitar daerah tersebut, yang kadang-kadang dikacaukan.

Bahu adalah persendian yang paling sering terserang pada penyelam-penyelam dan mencakup 1/3 dari jumlah seluruh kasus. Siku, pergelangan tangan, persendian tulang paha, lutut, dan pergelangan kaki juga terserang. Dua atau lebih persendian sering terserang tapi biasanya jarang simetris. Sering kali persendian-persendian yang berdampingan pada anggota badan yang sama terserang sekaligus.

Penggunaan tenaga sebelum atau selama penyelaman sering kali menyebabkan penyelam menduga bahwa gejalanya dikarenakan ketegangan otot yang disebabkan kerja berat, seperti membongkar sauh sebelum atau sesudah penyelaman dan sebagainya. Gelembung-gelembung nitrogen cenderung untuk lebih sering terjadi pada jaringan yang telah cedera sebelumnya. Oleh sebab itu, penyelam dapat sekaligus menderita ketegangan otot dan penyakit dekompresi.

Seorang penyelam setelah menyelesaikan penyelaman yang lama, melakukan prosedur dekompresi sambil berpegangan pada tali penghubung dengan tangan kirinya. Rasa sakit ini sembuh dengan rekompresi di dalam ruang hiperbarik. Diagnosis: Penyakit dekompresi. Gelembung-gelembung cenderung untuk terbentuk dalam jaringan-jaringan yang cedera dan penggunaan tenaga yang dilakukan selama dekompresi. Kasus ini juga menggambarkan kenyataan bahwa tabel yang paling aman juga bisa salah.

Pada kasus yang ringan, sakit-sakit persendian dapat dirasakan yang akan berlangsung hanya dalam beberapa jam.

2. Susunan saraf

Berbagai bagian dari susunan saraf dapat terkena dan kelainan ini merupakan manifestasi yang berat dari penyakit dekompresi, yaitu pada otak, otak kecil, dan tulang belakang.

- Otak

Gelembung dapat terbentuk dalam jaringan-jaringan otak atau pembuluh darah yang menyuplai otak dapat tersumbat oleh gelembung. Akibatnya tergantung pada pembuluh mana yang tersumbat. Efeknya sama dengan gejala “strok” yang biasa didapatkan, seperti penglihatan kabur, titik-titik buta, tak dapat menggerakkan satu sisi tubuh atau anggota badan, tak dapat berbicara atau tak mengerti percakapan. Sakit kepala merupakan gejala awal yang biasanya terjadi. Kekacauan, tidak sadarkan diri, dan kejang bisa terjadi. Kematian akan terjadi bila tidak diberikan pengobatan yang tepat.

- Otak kecil (*Cerebellum*)

Cerebellum (otak kecil) adalah bagian dari otak yang mengatur koordinasi. Gelembung-gelembung di sini menyebabkan hilangnya koordinasi. Gejala ini umumnya

dikenal oleh penyelam-penyelam sebagai “*stgger*” (terhuyung-huyung). Kesulitan berbicara dan bergetar (tremor) juga terlihat pada penyakit dekompresi yang menyerang otak kecil.

3. Tulang belakang (spiral)

Tulang belakang gelembung-gelembung nitrogen pada sumsum tulang belakang atau pembuluh darah yang menyuplainya dapat mengakibatkan kehilangan perasaan dan gerakan atau bahkan dapat menyerang seluruh bagian bawah tubuh atau satu sisi tubuh. Ini dapat didahului oleh sakit pinggang dan sering berhubungan dengan kesulitan buang air kecil.

4. Gastrointestinal (saluran pencernaan)

Usus dapat dirusak oleh gelembung-gelembung dalam dinding usus atau pembuluh darah, menyebabkan rasa mual, kehilangan nafsu makan, muntah, kejang, dan buang-buang air besar (diare). Kasus lebih berat dapat menyebabkan muntah darah atau berak darah.

5. Jantung dan paru-paru

Dalam beberapa kasus penyakit dekompresi yang berat, sejumlah besar gelembung dapat terbentuk dalam darah, biasanya segera setelah berkurangnya tekanan (dekompresi). Gelembung-gelembung ini terjadi di dalam pembuluh darah balik yang mengembalikan darah ke jantung, dan kemudian gelembung-gelembung tersebut terperangkap di dalam paru-paru, menyumbat aliran darah dalam paru-paru dan menyebabkan sesak napas, sakit dada dan batuk. Gejala ini dikenal oleh penyelam sebagai “*chokes*”.

Sebagian dari gelembung-gelembung ini dapat melewati paru-paru dan kemudian dipompa oleh jantung ke dalam arteri dan kemudian ke seluruh bagian tubuh, menyebabkan gejala-

gejala penyakit di otak dan gejala lainnya, yang mirip seperti emboli udara pada otak. Sedikit kelainan pada dinding kamar jantung atau pembuluh darah dapat menyebabkan gelembung-gelembung memasuki sirkulasi arteri dengan cara yang sama. Jika gelembung masuk ke pembuluh darah koroner yang menyuplai darah ke jantung, akibatnya sama dengan “serangan jantung” – sakit dada, denyut jantung tidak teratur, dan mungkin kematian.

6. Kulit

Gatal-gatal sudah biasa terjadi setelah berada di dalam ruang rekompresi dalam waktu yang singkat. Ini menjadi nyata segera setelah mencapai permukaan dan menyerang tangan, lengan, hidung, telinga, dan paha. Ini dapat menyebabkan bercak-bercak seperti pada penyakit campak yang muncul di sebelah atas tubuh dan paha. Penyakit ini tidak serius dan tidak memerlukan pengobatan.

Bercak-bercak yang lebih mengerikan dapat terlihat pada penyakit dekompresi berat di bagian yang sama seperti di atas, disebabkan oleh pembuluh-pembuluh darah kulit tersumbat oleh gelembung-gelembung. Kemungkinan lain dapat terlihat bercak kebiruan. Kedua macam bercak ini menandakan penyakit dekompresi serius yang harus diobati dengan cara yang sesuai.

Pada umumnya, lebih cepat gejala timbul lebih serius penyakitnya. Semakin tertundanya pengobatan, semakin sulit untuk diobati dengan sukses.

7. Darah

Perubahan yang kompleks terjadi dalam aliran darah. Ini berupa gangguan pembekuan dan pengentalan darah. Platelet (semacam sel darah) berkurang jumlahnya. Platelet cenderung untuk melekat pada gelembung-gelembung dan ini dapat menyebabkan sumbatan-sumbatan pada pembuluh-pembuluh darah.

B. Pengobatan

Walaupun kasus-kasus yang ringan dapat diobati dengan menghirup 100% oksigen pada tekanan permukaan, pengobatan terpenting adalah rekompresi. Dokter yang berpengalaman dalam kedokteran bawah air harus dimintai nasihatnya dalam segala kasus penyakit dekompresi yang diragukan ataupun yang jelas. Ia dapat merekomendasi pasien untuk ditransportasikan ke ruang rekompresi yang terdekat.

Cara transportasi sangat penting karena dengan naik ke udara akan terjadi pengurangan tekanan seperti naik dalam air. Pesawat udara penumpang biasa mempunyai tekanan yang sama dengan antara 1.000 dan 2.000 meter di atas laut.

Transportasi dengan pesawat jenis ini akan menyebabkan gelembung-gelembung di jaringan mengembang dan memperberat keadaan penderita. Beberapa jenis pesawat seperti Hercules yang operasionalnya dilakukan oleh RAAF tekanannya dapat disamakan dengan tekanan permukaan dan cocok untuk transportasi. Jika transportasi udara harus dilakukan dalam pesawat jenis apa pun, ketinggian harus dijaga sedekat mungkin mungkin dengan air laut, atau tekanan di dalam pesawat dibuat semaksimal mungkin. Harus diingat bahwa jika ditempuh jalan darat akan menimbulkan bahaya bila melampaui ketinggian 500 meter.

Selama transportasi ke fasilitas rekompresi harus diberikan 100% oksigen. Hal ini sering menyebabkan berkurangnya gejala untuk sementara waktu dan mempercepat pelepasan nitrogen yang berlebihan dari dalam tubuh. Penderita harus bernapas udara biasa selama 5 menit tiap setelah 30 menit bernapas dengan 100% oksigen.

Rekompresi-rekompresi akan mengurangi ukuran gelembung sesuai dengan Hukum Boyle. Jika gelembung menyumbat atau menekan pembuluh darah atau saraf, pengurangan jumlah gelembung akan mengurangi gejala. Perbandingan antara daerah permukaan

dengan jumlah gelembung akan bertambah, membantu pengeluaran nitrogen dari gelembung. Dekompresi lambat memungkinkan nitrogen keluar dari gelembung dengan kecepatan yang cukup untuk menghalangi mengembangnya lagi gelembung dikarenakan berkurangnya tekanan. Oksigen digunakan dalam pengobatan untuk mempercepat pelarutan gelembung. Ketika penyelam menghirup oksigen murni, tak ada lagi nitrogen yang memasuki paru-paru dan tubuhnya. Ini mempercepat difusi dan nitrogen akan lebih cepat meninggalkan tubuh dan teringankan hipoksia yang disebabkan oleh tersumbatnya pembuluh darah oleh gelembung nitrogen.

Pengobatan rekompresi jika mungkin harus dilaksanakan oleh dokter atau orang yang berpengalaman dalam pengobatan tersebut. Tabel rekompresi berguna karena kemudahannya. Kasus-kasus dibedakan dalam golongan ringan dan berat, dan pengobatan dijelaskan untuk kasus yang umum. Keburukannya adalah bahwa tabel tersebut kurang fleksibel. Karena kasus penyakit dekompresi berbeda satu sama lain, tabel-tabel tersebut mungkin kurang bermanfaat untuk kasus yang luar biasa. Tabel tersebut merupakan pedoman yang baik untuk kebanyakan kasus.

Skema pengobatan yang lebih fleksibel didasarkan pada rekompresi sampai suatu kedalaman yang memberi hasil yang memuaskan, daripada menentukan kedalaman sebelumnya, yang telah dikembangkan di Australia, dan dewasa ini digunakan oleh Angkatan Laut Australia. Diberikan kadar oksigen yang paling aman untuk tiap kedalaman (misalnya tekanan parsial oksigen maksimum sebesar 2 ATA) dan kecepatan naik yang tetap, sedangkan kecepatan ini ditentukan oleh persentase oksigen yang diberikan.

Keracunan oksigen diperkecil dengan menghirup udara selama 25 menit setelah setiap 25 menit menghirup oksigen. Dekompresi dihentikan jika gejala-gejala terjadi dan rekompresi berikutnya dilakukan setelah gejala-gejala menghilang. Kecepatan dekompresi

selanjutnya sering kali diperlambat. Teknik pengobatan ini hanya boleh dilakukan oleh dokter yang berpengalaman, tetapi telah dibuktikan sukses dalam kasus-kasus yang diobati oleh Angkatan Laut Australia.

Dalam kasus-kasus darurat yang jauh dari fasilitas rekompresi, skema rekompresi di dalam air yang cukup aman telah dikembangkan (juga di Australia) untuk mengobati langsung di tempat, atau dapat dilakukan dengan meringankan gejala-gejala hingga transportasi ke ruang rekompresi.

Pengobatan ini terdapat pada lampiran. Ini hanya dilakukan dengan pengawasan medis, karena 100% oksigen diisap pada kedalaman 9 meter. Pasien tidak boleh diberi rekompresi tanpa kehadiran seorang pengawas medis yang terlatih. Keterampilan tanpa mendiagnosis dan teknik-teknik resusitasi mungkin diperlukan jika timbul komplikasi selama rekompresi atau dekompresi, apalagi jika menggunakan oksigen. Keselamatan pengawas harus dipikirkan karena tabel-tabel pengobatan berdasarkan pada campuran gas yang dihirup pasien dan dengan demikian waktu dekompresi untuk petugas kurang memadai. Situasi yang menyedihkan dapat terjadi sementara pasien melompat dari ruang rekompresi sedangkan pengawasnya menderita sakit pada persendian dan sakit kepala yang hebat serta penglihatan yang kabur.

Pengobatan lainnya yang dapat diberikan selama rekompresi termasuk pemberian cairan ke dalam pembuluh darah, steroids, kortison, dan obat anti-pembekuan darah. Penyakit dekompresi dapat dicegah dengan cara memastikan bahwa penyelam-penyelam yang turun ke kedalaman yang memerlukan dekompresi harus paham akan tabel dan teknik dekompresi yang modern. Ini harus diikuti dengan saksama karena segala penyimpanan dari aturan dapat mengakibatkan penyakit dekompresi. Ada kemungkinan 1-3% untuk mengalami penyakit dekompresi walaupun tabel telah dikutip, dan

tabel tersebut kurang dapat dipercaya bila penyelaman semakin lama dan semakin dalam.

Perorangan dan pekerjaan tertentu amat mudah mengalami penyakit dekompresi. Ini termasuk penyelam-penyelam yang gemuk, penyelam-penyelam berusia tua, mereka yang bekerja dalam air dingin, penyelam-penyelam yang letih khususnya mereka yang melakukan kerja berat di dalam air, penyelam-penyelam yang mempunyai riwayat "*bends*" dan penyelam-penyelam saturasi. Riwayat pernah *bends* membuat penyelam lebih mudah mengalami kekambuhan pada tempat yang sama. Semua orang ini harus disarankan untuk amat berhati-hati dalam menggunakan tabel dekompresi terbukti sangat bermanfaat.

Penyelam-penyelam yang pernah mengalami penyakit dekompresi tidak boleh menyelam lagi untuk sedikitnya 3-4 minggu dan jangka waktu ini harus diperpanjang (jika dapat untuk selamanya) untuk kasus-kasus yang lebih berat. Semua penyelam yang pernah menderita penyakit dekompresi pada tulang belakang atau otak tidak boleh menyelam lagi di kedalaman melebihi 10 meter. Riwayat dari cedera yang baru terjadi (segala jenis) dapat membuat penyelam lebih mudah mengalami penyakit dekompresi seperti juga minum alkohol sebelum penyelaman. Penyelam-penyelam sering kali merupakan korban penyakit dekompresi setelah menyelesaikan penyelaman yang berulang-ulang dan haruslah dipahami bahwa tabel dekompresi mempunyai faktor kegagalan yang lebih besar untuk penyelam-penyelam ini. Sering kali penyelam salah membaca atau salah mengartikan tabel penyelaman, yang mana menambah penderitaan fisiknya. Kecepatan naik 8-10 meter/menit juga jauh lebih aman. Pemakaian alat penghitung dekompresi (*Decompression Meters = DCM*) untuk penyelaman berulang-ulang atau penyelaman dalam (lebih dalam dari 40 meter) juga dapat membuat penyelam lebih cenderung untuk menderita *Bends*. Pemakaian alat inilah yang

menjadi penyebab banyaknya kejadian penyakit dekompresi di Australia.

Bab XII

Dysbaric Osteonecrosis

A. Definisi

Disebut juga "*Divers Bone Disease*" adalah penyakit tulang pada penyelam, "*Avascular Bone Necrosis*" dan "*Caisson Disease of Bone*" (penyakit *caisson* pada tulang). Pertama kali ditemukan pada pekerja *Caisson* di abad 19, dan dilukiskan sebagai daerah tulang yang mati, terutama pada tulang-tulang lengan atas dan paha. Bila daerah pertulangan yang mati ini terdapat di bawah sendi paha atau bahu, di kemudian hari akan terjadi rasa nyeri dan gejala-gejala *arthritis* (radang sendi) serta terbatasnya pergerakan sendi.

Penyebab pasti dari penyakit ini belum diketahui, tetapi diduga merupakan akibat yang terlambat dari penyakit dekompresi. Sumsum tulang yang banyak mengandung lemak dan akan menyerap banyak nitrogen. Jika dekompresi kurang memadai, nitrogen akan dilepaskan hanya di sekitar sumsum tulang itu. Bila aliran darah ke salah satu bagian dari tulang terhalang oleh gelembung nitrogen yang ada di dalam sumsum tulang, atau oleh gelembung yang kecil atau gumpalan lemak di dalam pembuluh darah, maka daerah tersebut akan mengalami hipoksia dan bisa mati, terutama bila kejadian ini berlangsung lama. Bila daerah itu tidak dialiri darah melalui pembuluh lain, pertumbuhan kembali jaringan tulang tidak akan terjadi dan daerah itu akan tetap mati. Bila daerah ini terletak di bawah

permukaan sendi, terutama sendi-sendi yang menahan beratnya tubuh seperti sendi paha atau bahu, pada suatu saat lapisan permukaan sendi akan hancur dan akan terjadi *arthritis* yang berat.

Kelainan ini didapatkan antara sekitar 5% penyelam (Royal Navy) hingga 80% (penyelam komersial Cina). Umumnya terjadi pada keadaan sebagai berikut:

- Penyelam yang berusia di atas 30 tahun.
- Penyelam yang melakukan dekompresi yang tak memadai
- Penyelam yang melakukan penyelidikan
- Penyelam yang pernah menderita penyakit dekompresi, terutama yang tidak diobati secara memadai.

Pada beberapa kasus kelainan ini terjadi hanya tiga bulan setelah suatu penyelaman, bahkan bisa terjadi hanya setelah satu kali penyelaman. Penyakit ini biasanya akan menetap selama beberapa tahun sebelum gejala terlihat.

Kerusakan awal biasanya tanpa gejala dan hanya dilihat dengan pemeriksaan rontgen. Ada dua macam tempat terjadinya kelainan pada tulang, yaitu di daerah kepala, leher, dan tangkai tulang; daerah lainnya adalah yang berbatasan dengan permukaan sendi (*juxta-artukuler*).

Kelainan di dekat permukaan sendi dapat menyebabkan gejala setiap saat dan sering menyebabkan pincang. Terutama terdapat di dekat permukaan sendi yang menahan beban tubuh seperti paha, lutut dan bahu, karena pada sendi-sendi tersebut selalu terdapat tekanan dari beratnya tubuh.

Kelainan yang mengenai kepala, leher, dan tangkai tulang biasanya tidak menyebabkan gejala dan secara klinis tidak begitu penting. Daerah yang sering terkena adalah tulang-tulang panjang seperti paha dan lengan atas.

Beratnya gejala yang terjadi tergantung dari luasnya kerusakan dan posisi dari tulang yang rusak tersebut. Gejalanya terutama

berupa rasa nyeri pada sendi yang terkena (yang bertambah hebat bila digerakkan) dan terbatasnya pergerakan sendi. Saat timbulnya gejala biasanya didahului dengan adanya aktivitas fisik yang berat atau setelah mengangkat beban yang berat. Bila sendi telah terkena, akan terjadi *osteorthritis* dan akhirnya sendi tersebut sama sekali tidak bisa digerakkan.

Pengobatan amat tak memuaskan dan biasanya sendi yang rusak harus diganti dengan sendi buatan yang terbuat dari plastik atau logam. Dengan pergantian tersebut pergerakan sendi akan lebih bebas dan rasa sakit akan berkurang, tetapi tentu saja tak sebaik sendi yang normal. Agaknya tak ada cara pengobatan yang dapat mencegah terjadinya manifestasi di kemudian hari walaupun dilakukan segera setelah penyakitnya diketahui.

Oleh karena penyebabnya tidak diketahui dengan pasti, tindakan pencegahannya juga tidak diketahui. Mencegah untuk tidak melakukan penyelaman dalam dan penyelaman berulang, terutama yang membutuhkan prosedur dekompresi, agaknya cukup logis tetapi sering tidak praktis. Tentunya penahanan prosedur dekompresi harus dilaksanakan dengan saksama untuk mencegah terjadinya penyakit dekompresi yang paling ringan sekalipun dan harus senantiasa naik ke permukaan secara perlahan.

Pengenalan awal dari penyakit ini amat penting untuk mencegah kerusakan lebih lanjut apabila terus melakukan penyelaman. Berarti tidak menyelam untuk sementara akan dapat mencegah berlanjutnya kerusakan pada "penyelam yang peka". Pemeriksaan rontgen tulang panjang harus dilakukan secara teratur pada kasus-kasus:

- Tiga sampai empat bulan setelah terjadinya penyakit dekompresi jenis apa pun.
- Nyeri di daerah sendi yang menetap selama lebih dari 2-3 hari.
- Semua penyelam yang sering atau berulang kali berada dalam keadaan hiperbarik (penyelam profesional, instruktur, dsb).

Untuk mendapatkan diagnosis yang tepat, foto rontgen harus diperiksa oleh seorang ahli radiologi yang mempunyai pengetahuan kesehatan hiperbarik. Penyelam profesional dan mereka yang menghadapi kemungkinan terkena penyakit ini harus diperiksa minimal setahun sekali.

Bila ditemukan kelainan pada *juxta-artikuler*, penyelaman harus dihentikan. Bila yang didapatkan kelainan pada kepala, leher, dan tangkai sendi, orang tersebut tidak diperbolehkan menyelam melebihi 20 meter, tidak diperbolehkan menyelam yang membutuhkan prosedur dekompresi, dan harus naik ke permukaan secara perlahan. Bila kerusakan berlanjut, sama sekali dilarang menyelam.

Dysbaric osteonecrosis adalah penyakit akibat menyelam yang cukup sering ditemukan baik pada penyelam *sport* maupun komersial. Karena penyebabnya belum diketahui dengan pasti, pengobatannya juga kurang memuaskan. Mencegah terjadinya penyakit dekompresi adalah tindakan pencegahan terpenting. Oleh karena itu pemeriksaan rontgen tulang panjang dianjurkan pada penyelam profesional dan mereka yang sering melakukan penyelaman yang memerlukan prosedur dekompresi.

Bab XIII

Nitrogen Narkosis

A. Definisi

Bila seorang bernapas pada tekanan tinggi, nitrogen (yang membentuk 79% udara) mempunyai pengaruh yang dapat mengakibatkan keracunan, dan seperti halnya alkohol, pengaruhnya bisa menggembirakan dan mencelakakan.

Fenomena ini dikenal sebagai nitrogen narkosis atau "*narks*". Hal ini dapat digambarkan sebagai gangguan pada seorang penyelam berhelm yang harus ditarik ke permukaan oleh pembantunya karena ia bertindak tidak wajar. Bila ini terjadi pada penyelam Scuba karena rekannya juga mengalami pengaruh yang serupa, hal ini akan sangat membahayakan.

Pengaruh tersebut akan dialami oleh semua penyelam yang menggunakan udara sebagai gas pernapasannya pada kedalaman 30 meter atau lebih, kadang-kadang malah lebih dangkal. Beratnya gejala dan kedalaman ketika pengaruh ini mulai terasa, tidaklah sama pada setiap orang. Penyelaman dengan udara pada kedalaman lebih dari 60 meter sama sekali tidak aman karena pengaruh tersebut.

Penyebab yang pasti dari pengaruh narkosis ini belumlah diketahui. Nitrogen tidak turut serta pada reaksi-reaksi kimia yang terjadi dalam tubuh dan karenanya dianggap sebagai gas lambat dan pengaruhnya hanyalah secara fisika. Bila kita perhatikan gas-gas

lambam lainnya seperti helium, neon, dan argon, ternyata bahwa pengaruh narkosisnya pada kedalaman berhubungan erat dengan berat molekulnya. Makin berat molekulnya, makin besar pengaruh narkosisnya. Seperti tertera di bawah ini:

- Helium - Berat molekul 4
- Neon - Berat molekul 20
- Nitrogen - Berat molekul 28
- Argon - berat molekul 40
- Kryppton - Berat molekul 83,7
- Xenon - Berat molekul 131,3.
- Tidak ada pengaruh
- Neon - Berat molekul 20 - pengaruh paling ringan
- Pengaruh lebih besar
- Pengaruh lebih besar
- Pengaruh lebih besar
- Pengaruh paling besar

Selanjutnya terlihat bahwa gas lambam yang lebih mudah larut dalam lemak dan air cenderung memiliki pengaruh narkosis yang lebih besar. Teori-teori lain mengatakan adanya hal-hal lain yang memperberat pengaruh narkosis tersebut seperti keracunan oksigen dan karbon dioksida, perubahan enzimatik pada sel-sel otak dsb, tetapi proses pasti yang menyebabkan nitrogen narkosis belum diketahui secara pasti.

Suatu cara untuk mengukur pengaruh narkosis tersebut sangatlah berharga guna meramalkan terjadinya pengaruh tersebut pada seseorang dan untuk kepentingan riset. Sayangnya, hingga saat ini belum ada cara pengukuran yang dapat dipercaya dan indeks yang konsisten. Cara-cara yang sekarang banyak digunakan dihubungkan dengan pengukuran tingkat intelektuil penyelam (menghitung, daya ingat, tes memilih, dsb.) serta perubahan-perubahan pada pola aktivitas otak (gelombang otak) yang diukur secara elektronis dengan Elektro-ense-falogram (EEG).

Pengaruh narkosis biasanya akan terlihat dalam beberapa menit setelah mencapai kedalaman tertentu, dan tidak akan bertambah buruk pada kedalaman tersebut, tetapi pengaruhnya akan segera

hilang bila seorang naik ke permukaan. Dengan penyelaman yang berulang-kali dan waktu di kedalaman yang lebih lama akan terjadi toleransi terhadap pengaruh narkosis tersebut. Beberapa faktor yang meningkatkan terjadinya pengaruh narkosis antara lain:

- Intelligensia yang rendah.
- Kelelahan atau kerja berat.
- Kegelisahan, kurang pengalaman, penyelam pemula.
- Dingin
- Minum alkohol
- Daya pandang yang buruk
- Gangguan oksigen atau karbon dioksida.

Faktor-faktor yang cenderung mengurangi terjadinya pengaruh narkosis antara lain:

- Motivasi yang kuat untuk melakukan tugas tertentu,
- Aklimatisasi setelah melakukan penyelaman yang lama dan berulang-ulang,
- Toleransi terhadap peminum alkohol. Seorang penyelam yang mampu “tahan minuman keras” mempunyai toleransi yang lebih besar terhadap “narks”. Namun demikian permohonan akan “aklinitisasi terhadap narks” tidaklah dapat diterima oleh pengadilan sebagai pembelaan terhadap denda akibat mabuk.

Pengaruh tersebut dipersamakan dengan minum martini pada saat perut kosong untuk tiap kedalaman 10 meter (“Hukum Martini”).

Fungsi-fungsi otak yang tinggi seperti daya pemikiran, penilaian, daya ingat dan perhatian merupakan fungsi yang pertama-tama terpengaruh. Hal ini sering menimbulkan perasaan “sehat” dan menstimulasi rasa aman pada penyelam terhadap sekitarnya seperti di dalam ruang kompresi, air yang jernih dengan rekan penyelam berada di dekatnya dsb.

1. Satu kelompok penyelam turun ke dalam gua yang berair jernih untuk menikmati pengaruh dari narkosis. Beberapa hari kemudian tubuh mereka ditemukan di ujung gua. Mereka adalah korban akibat rasa percaya diri yang berlebihan serta kehilangan pertimbangan akibat narkosis.
2. Penyelam lain menjadi begitu gembira sewaktu menyelam sehingga ia membuka suplai udaranya dan memberikannya pada ikan yang sedang lewat.

Pada penyelam pemula atau penyelam yang mengalami kecemasan, reaksi yang sebaliknya, rasa ngeri (teror) dapat terjadi. Daya ingat penyelam juga terganggu.

Dengan makin meningkatnya tekanan, penyelam akan mengalami kesukaran dalam pergerakan tangan dan koordinasinya. Suatu tugas yang ringan seperti menalikan sesuatu, membutuhkan konsentrasi yang berlebihan. Pada kedalaman yang sangat dalam, halusinasi mirip LSD dan ketidaksadaran yang diikuti dengan tenggelam akan terjadi. Dengan berkurangnya tekanan, dan mulai hilangnya gejala-gejala narkosis, sering terjadi sedikit kehilangan daya ingatan akibat dari periode narkosis sebelumnya.

B. Pengamatan Pengaruh dari Nitrogen Narkosis

Berikut pengaruh dari nitrogen narkosis berdasarkan kedalaman:

1. 10-30 meter, gangguan ringan pada pelaksanaan tugas yang kurang dikenal, (1-3 martini) mungkin terjadi euforia ringan.
2. 30-50 meter, tertawa dan ngoceh bisa terjadi, tetapi sering dapat diatasi dengan (3-5 martini) pengendalian diri. Sering terjadi rasa percaya diri berlebihan dan kecenderungan akan rasa mampu yang berlebihan. Kesalahan perhitungan dapat menyebabkan dekompresi yang salah.
3. 50 meter, rasa mengantuk dan sedikit kehilangan pertimbangan. (5-7 martini) Halusinasi bisa terjadi.

4. 50-70 meter, suasana yang riuh rendah. Kebanyakan jadi banyak bicara, tetapi (5-7 martini) pada beberapa orang bisa terjadi rasa ngeri (teror). Biasanya terjadi *dizzines* (pusing) dan tertawa yang tidak terkontrol.
5. 70 meter, kemampuan daya tangkap memburuk tapi tidak begitu (7 martini) berpengaruh pada kecakapan tangan. Keterlambatan yang nyata dalam menjawab isyarat atau perintah.
6. 70-90 meter, daya konsentrasi memburuk serta kekacauan mental. (7-9 martini) terpaku (bengong) dan berkurangnya pergerakan serta daya pertimbangan. Hilangnya ingatan terjadi bersamaan dengan meningkatnya kemudahan terkena rangsangan.
7. 90 meter, halusinasi dan ketidaksadaran – mati. (9 martini) + *Hangover*.

Kematian dapat terjadi pada kedalaman yang lebih dangkal karena kekeliruan yang diakibatkan oleh kesalahan penilaian atau percaya diri berlebihan.

Pengobatan mencakup juga perlindungan penyelam terhadap cedera hingga waktu naik dan tanda dan gejala menghilang. Pengaruh narkosis juga dapat diatasi dengan menambahkan gas yang kurang mempunyai pengaruh narkosis seperti helium.

Cara pencegahan yang baik adalah dengan tidak menggunakan udara tekan pada penyelaman ke kedalaman yang diketahui akan menimbulkan pengaruh narkosis atau keracunan. Kedalaman dimaksud adalah sekitar 30-60 meter tergantung pada pengalaman penyelam, toleransinya terhadap narkosis dan tugas yang akan dikerjakannya. Penyelaman yang aman sekitar 30 meter memerlukan kewaspadaan terhadap tingkah laku serta daya pertimbangan seseorang. Namun demikian, penggantian nitrogen dengan gas lembam yang kurang mempunyai efek narkosis lebih disenangi.

Dalam hal ini banyak digunakan Helium. Juga hidrogen, neon, dan argon sedang dalam penyelidikan untuk menggantikan nitrogen. Batas kedalaman narkosis untuk hidrogen dan helium masih belum dapat dipastikan, itu pun kalau kedua gas tersebut mempunyai pengaruh narkosis.

Pernapasan dengan menggunakan cairan mungkin pada suatu saat akan dapat menggantikan perlunya gas lembam untuk mengencerkan oksigen. Hal ini akan dapat menghilangkan problema narkosis dan juga beberapa problema lainnya.

Penggunaan obat-obatan untuk mengatasi pengaruh narkosis belumlah dapat dibuktikan cukup aman dan efektif dan oleh karenanya sama sekali tidak praktis.

Aklimitasi dengan cara menyelam dengan cepat ke kedalaman akan mempercepat tiba di kedalaman karena pengaruh narkosis akan terlihat.

Bab XIV

Sindrom Neurologis Akibat Tekanan Tinggi (*High Pressure Neurological Syndrome, HPNS*)

A. Definisi

Kelainan ini hanya akan terjadi pada kedalaman yang tak dapat dicapai bila menyelam dalam yang menggunakan campuran gas helium-oksigen sebagai gas pernapasan. Merupakan kumpulan gejala yang kompleks yang terjadi pada kedalaman melebihi 130 meter, dan hampir tak dapat dielakkan pada penyelam yang bernapas campuran helium-oksigen pada kedalaman melebihi sekitar 300 meter. Gejalanya bisa cukup berat hingga penyelam tak dapat melakukan tugasnya dengan baik dan juga memengaruhi ingatan serta kesadarannya. Penyebabnya bisa akibat pengaruh langsung tekanan terhadap sel-sel otak atau akibat efek toksik dari helium pada tekanan yang amat tinggi. Keracunan oksigen dan karbon dioksida diduga dapat menyebabkan HPNS, tetapi dari penyelidikan diketahui bahwa hal tersebut bukanlah merupakan faktor penyebab.

Gejala biasanya timbul pada kedalaman yang melebihi 130 meter pada penyelam yang menggunakan campuran helium-oksigen dan pada kedalaman sedikit lebih dangkal pada penggunaan hidrogen-oksigen. Gejala yang timbul disebabkan oleh kelainan pada otak dan yang mula-mula terlihat adalah getaran otot (tremor) yang tak terkendalikan serta kesukaran melakukan koordinasi gerakan. Bila tekanan bertambah, akan terjadi kekacauan mental, rasa mengantuk,

disorientasi, tak sadar, dan dapat berakhir dengan kematian. Tremor terutama terlihat pada jari-jari tangan dan lengan.

Dua orang yang sedang menyelidiki pengaruh HPNS mengalami kesukaran untuk mengambil contoh darah dari rekannya karena tremor yang tak dapat dikendalikan. Setelah menunggu hingga tremornya berjalan berlawanan arah, yaitu dengan cara mempertemukan jari-jari tangan, akhirnya mereka berhasil juga mengambil contoh darah masing-masing.

Kelainan ini akan semakin berat bila kompresi dilakukan dengan cepat dan dengan makin bertambahnya kedalaman. Bila kedalaman dipertahankan, tremor lambat laun akan menghilang tapi bisa jadi menghilangnya setelah 100 jam. Penyelaman yang semakin dalam akan mengganggu kesadaran dan dapat menyebabkan bahaya yang serius. Penyelam akan mengalami kesukaran untuk membaca alat pengukur, memahami perintah yang diberikan, ataupun membedakan mana kiri mana kanan. Makin cepat turun ke kedalaman makin dangkal kedalaman tempat HPNS akan timbul dan juga gejalanya akan semakin berat.

Nitrogen dan beberapa macam gas lain dapat menghambat aktivitas sel-sel otak bila dihirup pada tekanan tinggi. Pengaruh ini dapat digunakan untuk melawan pengaruh perangsangan sel otak dari HPNS. Penambahan nitrogen juga akan mengurangi kerugian dari campuran gas yang digunakan dan menghalangi pengurangan panas tubuh serta gangguan berbicara akibat pengaruh helium. Akhir-akhir ini digunakan hidrogen untuk melawan pengaruh HPNS pada kedalaman yang lebih besar. Pengaruh HPNS cenderung akan berkurang dengan makin terbiasanya penyelam dalam lingkungan kedalaman tertentu. Turun ke dalam air secara lambat juga akan dapat mengurangi gejala.

HPNS merupakan faktor utama yang membatasi kedalaman penyelaman. Rekor kedalaman pada saat ini adalah 610 meter (Comex,

Marseille, Prancis). Karena percobaan binatang menunjukkan bahwa kejang pada manusia akan terjadi pada kedalaman 674 meter, agaknya rekor kedalaman ini masih dapat dipecahkan. Penggunaan tiga macam campuran gas (Tri-mix yang terdiri dari helium + nitrogen + oksigen) secara hati-hati memungkinkan dicapainya kedalaman yang lebih besar dengan aman.

Pekerjaan bawah air harus menggunakan standar peralatan penyelaman secara baik serta menerapkan prosedur kesehatan kerja bawah air secara betul belut laut, salah satu bentuk kekayaan dan keanekaragaman fauna bawah air.

Bab XV

Keracunan Oksigen

A. Definisi

Dengan terdapatnya 21% oksigen di udara, tekanan parsial oksigen yang normal di udara sekitar 0,2 ATA (152 mmHg) di permukaan laut. Keracunan oksigen akut yang mengenai otak terjadi bila tekanan parsial oksigen melebihi 2 ATA. Hal ini mungkin disebabkan meningkatnya persentase oksigen dalam gas pernapasan, meningkatnya tekanan lingkungan, atau keduanya. Keracunan oksigen kronis dapat terjadi setelah pengisapan oksigen dalam jangka waktu yang lama dengan tekanan parsial 0.8 ATA atau lebih. Bernapas dengan 100% oksigen di permukaan selama 20-40 jam bisa menimbulkan keracunan oksigen.

Dua organ dalam tubuh manusia yang terutama dipengaruhi oleh keracunan oksigen adalah paru-paru dan otak. Keduanya akan dibicarakan secara terpisah.

Keracunan oksigen akut pada penyelam amatir (*sport divers*) yang bernapas dengan udara tekan hampir tidak mungkin terjadi karena tekanan parsial oksigen yang dibutuhkan hanya akan terjadi pada kedalaman 90-100 meter. Pengaruh nitrogen narkosis tidak memungkinkan seorang penyelam untuk mencapai kedalaman tersebut. Kebanyakan kasus keracunan oksigen pada penyelam disebabkan oleh keadaan-keadaan sebagai berikut:

- Penggunaan alat selam *closed* atau *semi-closed circuit* dengan 100% oksigen atau oksigen yang diperkaya sebagai gas pernapasannya.
- Pada penyelaman saturasi ketika digunakan campuran oksigen yang diperkaya atau oksigen murni untuk memperpendek waktu dekompresi.
- Pada pengobatan rekompresi untuk penyakit dekompresi atau emboli udara.
- Pada kasus-kasus kegagalan pernapasan karena dilakukan resusitasi dengan oksigen dalam waktu yang lama.

Tekanan parsial oksigen pada tiap kedalaman dapat dihitung dengan mengetahui kadarnya dalam campuran gas pernapasan serta tekanan air di sekitarnya. Misalnya tekanan parsial oksigen di udara pada permukaan air (1 ATA):

Udara mengandung kira-kira 20% O₂ + 80 % N₂

Udara pada 1 ATA = 0.2 ATA O₂ + 0.8 ATA N₂; Tekanan parsial Oksigen (PO₂) = 0.2 ATA.

Tekanan parsial oksigen bila bernapas dengan udara pada kedalaman 30 meter (4 ATA) adalah 0.8 ATA (4 x 0.2 ATA) dan pada kedalaman 90 meter (10 ATA) = 2 ATA (10 x 0.2 ATA).

Keracunan oksigen akan sangat mungkin terjadi bila bernapas dengan tekanan parsial oksigen yang melebihi 2 ATA. Dari perhitungan di atas dapat terlihat bahwa hal tersebut dapat terjadi pada tiap kedalaman yang melebihi 90 meter bila bernapas dengan udara. Campuran gas pernapasan yang mengandung oksigen lebih besar dari komposisinya di udara (lebih dari 20%) akan bersifat racun pada kedalaman yang lebih dangkal. Misalnya campuran 60% nitrogen + 40% oksigen akan bersifat racun pada kedalaman 40 meter (5 ATA) dengan tekanan parsial oksigen sebesar 2.0 ATA.

Demikian juga halnya 100% oksigen akan bersifat toksik pada kedalaman 10 meter (2 ATA). Bila menyelam ke kedalaman melebihi

90 meter harus digunakan campuran gas pernapasan yang khusus. Sering digunakan gas-gas lembam seperti helium atau neon yang dikombinasikan dengan 10% atau kurang oksigen. Campuran ini akan dapat mengatasi problema nitrogen narkosis dan juga keracunan oksigen. Campuran gas yang sering digunakan adalah:

90% helium + 10% oksigen - untuk penyelaman 200 meter

80% helium + 15% nitrogen + 5% oksigen - untuk 300 meter.

Pada penyelaman dalam sering digunakan beberapa macam campuran gas untuk turun dan naik.

B. Keracunan Oksigen Akut

Bentuk keracunan ini terjadinya cepat dan memengaruhi otak. Juga dikenal sebagai "Efek dari Paul Bert". Penyebabnya yang pasti belum diketahui, tetapi teori yang diterima mengatakan adanya hambatan pada enzim-enzim tertentu yang dibutuhkan untuk reaksi biokimiawi di otak. Terjadinya gejala akan lebih cepat bila tekanan parsial oksigen meningkat melebihi 2 ATA.

Berbagai macam keluhan dan gejala telah disebutkan sebelumnya, tetapi yang paling serius adalah kejang-kejang yang mirip epilepsi (ayan). Tidak ada gejala awal yang menunjukkan akan terjadinya kejang dan semua keluhan yang tidak biasanya harus dianggap sebagai tanda bahaya. Keluhan-keluhan yang terdapat antara lain:

- Mual atau muntah
- Kepala terasa ringan atau pusing
- Getaran-getaran bibir dan otot
- Halusinasi pandangan (atau pendengaran)
- Inkoordinasi getaran otot
- Kebingungan
- Kejang-kejang epileptik
- Kebingungan dan hilang ingatan setelah kejang

Sangatlah sukar untuk meramalkan kapan seorang penyelam akan mengalami keracunan ini. Meningkatnya kepekaan akan menjadi nyata bila seorang penyelam menjalani tes toleransi terhadap oksigen di dalam ruang rekompresi. Di samping tingkat kepekaan yang berbeda-beda dari hari ke hari, juga terdapat kepekaan yang berbeda-beda pada setiap orang. Dengan demikian, saat terjadinya gejala pada seseorang tidaklah dapat diramalkan berdasarkan pada kedalaman ataupun waktu penyelaman. Namun demikian, makin besar tekanan parsial oksigen dan makin lama waktu bernapas dengan gas ini, makin besar kemungkinan terjadinya keracunan oksigen. Kerja (latihan) dan meningkatnya kadar CO₂ dapat mempercepat terjadinya gejala. Penyelaman basah (di dalam air) agaknya lebih mengurangi toleransi terhadap oksigen dibandingkan dengan penyelaman kering di ruang rekompresi. Gejala-gejala yang disebutkan di atas tidaklah begitu nyata di dalam air dan kemungkinan tidak diketahui. Kejang mungkin merupakan gejala pertama dari keracunan oksigen dan akan mengakibatkan tenggelam atau barotrauma paru bila penderita tidak segera ditolong. Kadang-kadang terjadi kejang setelah masker dari penyelam yang menghirup 100% oksigen dilepaskan di dalam ruang rekompresi, setelah tekanan dikurangi, atau setelah penyelam tiba di permukaan. Ini dikenal sebagai "*oxygen-off*" effect.

Yang pertama-tama harus dilakukan adalah mencegah terjadinya cedera pada tubuh akibat kejang-kejang. Suatu penyangga harus diletakkan pada tubuh akibat kejang-kejang. Diletakkan di mulut untuk mencegah tergigitnya lidah. Untuk ini bisa dilakukan dengan sendok atau *tongspatel* yang dibungkus dengan kain. Sewaktu kejang, otot-otot penderita mungkin menjadi kaku (tegang) sehingga penderita tidak bisa mengembuskan napas waktu naik, dan tiap pengurangan tekanan pada keadaan ini akan menyebabkan barotrauma paru. Prosedur yang sama juga harus dilakukan di ruang rekompresi dan waktu yang terpakai harus dihitung untuk menentukan stasiun dekompresi. Seorang dokter bisa memberikan suntikan antikejang di

dalam ruang dekompresi dalam keadaan tertentu. Bila tampak gejala awal keracunan oksigen di dalam ruang dekompresi, atau bila terjadi kejang, tekanan harus tidak berubah dan lepaskanlah masker oksigen sambil melakukan tindakan pencegahan seperti disebutkan di atas.

Telah diketahui bahwa timbulnya gejala dapat dihindarkan dengan melakukan hiperventilasi dan menyelingi pernapasan oksigen dengan bernapas ke udara. Timbulnya gejala dapat dipercepat oleh kerja (latihan), menyelam ke dalam air atau bernapas dalam kadar CO₂ yang tinggi misalnya terjadinya pembentukan CO₂ berlebihan. Banyak instansi penyelaman yang menentukan batas kedalaman maksimum yang aman bagi penyelaman dengan 100% oksigen sedalam 10 meter karena bahaya keracunan oksigen. Dalam ruang rekompresi, kedalaman ini bisa dengan aman diperdalam hingga 20 meter. Petugas ruang rekompresi dan penyelam kadang-kadang melakukan tes toleransi oksigen dengan bernapas 100% oksigen selama 30 menit pada kedalaman 16 meter. Bernapas udara secara periodik dan mengurangi aktivitas akan memperkecil risiko keracunan oksigen. Penggunaan obat untuk pencegahan belum dapat dibuktikan.

C. Keracunan Oksigen Kronis

Bentuk keracunan ini tidaklah merupakan problema pada pernapasan oksigen dalam jangka waktu pendek. Pengaruhnya adalah terhadap paru-paru dan juga dikenal sebagai keracunan oksigen pada "*Effek Lorraine-Smith*". Problem ini terjadi pada penyelaman saturasi atau penyelaman dalam ruang rekompresi dalam waktu lama, terutama bila digunakan oksigen yang diperkaya sebagai gas pernapasan pada terapi rekompresi untuk penyakit dekompresi. Gejala yang terjadi kadang-kadang tidaklah sesuai dengan oksigen yang diberikan. Oleh karena itu, harus selalu waspada terhadap penderita yang bernapas dengan tekanan parsial oksigen yang tinggi dalam jangka waktu lama. Pada binatang, kesukaran bernapas dan kematian. Selama ini hal tersebut belum pernah terjadi pada penyelam,

tetapi gejala-gejala awal yang sama yang terdapat pada manusia maupun binatang menunjukkan bahwa kematian dapat terjadi bila terdapat keracunan yang terus-menerus.

Penyebab pasti dari keracunan ini juga belum jelas benar, tetapi mungkin juga diakibatkan perubahan pada enzim sebagaimana halnya keracunan pada otak. Beberapa penyelidikan menunjukkan bahwa suatu zat yang dikenal sebagai "*surfactant*" terpengaruh. Zat ini berfungsi sebagai zat pembasah atau *detergent*, dan mencegah pengerutan kantung udara di paru-paru. Bila tidak ada "*surfactant*" paru-paru akan kolaps, tetapi hubungannya yang nyata belum dapat diperlihatkan.

Bila oksigen dengan tekanan parsial lebih dari 0.8 ATA dihirup dalam waktu yang lama, akan terjadi pembengkakan paru-paru diikuti kolaps paru-paru. Dalam jaringan paru mungkin akan terjadi perdarahan. Bentuk kerusakan paru yang lebih ringan akan terjadi bila bernapas oksigen dengan tekanan parsial 0.5-0.8 ATA.

Seperti keracunan akut, faktor-faktor yang memengaruhi beratnya keracunan adalah tekanan parsial oksigen yang diisap, lamanya pengisapnya, dan tingkat kepekaan seseorang. Pengukuran perubahan kapasitas vital paru digunakan untuk menentukan pengaruh dari keracunan tersebut. Hubungan antara tingkatan pengisapan dengan pengaruh keracunan pada paru diperlihatkan di bawah ini. Pengaruh utama berdasarkan frekuensi terjadinya:

- Tenggorokan gatal (seperti influenza)
- Rasa pedih di belakang tulang dada
- Batuk (terutama bila bernapas dalam, kering, dan mengiritasi)
- Rasa sakit bertambah berat dengan pernapasan
- Napas berbunyi dan batuk tak terkontrol
- Napas pendek
- Mungkin terdapat dahak yang berdarah
- Kematian mungkin terjadi bila keracunan terus-menerus.

Kerusakan paru akibat keracunan oksigen dapat menimbulkan terjadinya jaringan perut pada paru dan pengaruhnya berlangsung sangat lama.

Tak ada pengobatan yang khas untuk keracunan oksigen pada paru. Pada beberapa keadaan, hidrokortison dan *bronchodilator* (seperti untuk *asthma*) dapat digunakan. Begitu terlihat gejala awal dari keracunan, tekanan parsial oksigen harus segera diturunkan sebanyak mungkin, dan penderita dipaksakan untuk bernapas dengan udara bila kerusakan terus terjadi.

Oleh karena tidak adanya tindakan pencegahan khusus yang dapat dilakukan, pengukuran fungsi vital paru harus dikerjakan untuk mengamati tanda awal keracunan. Vitalograf merupakan mesin pengukur yang sangat berguna dan akan memperlihatkan penurunan kapasitas vital secara progresif. Perubahan pada kapasitas vital akan memakan waktu hingga 112 hari untuk kembali normal.

Selingan dengan bernapas udara dapat memperlambat terjadinya gejala dan sangat dianjurkan. Pengembusan napas secara maksimum secara periodik merupakan cara yang bermanfaat untuk menghindari kolaps jaringan paru. Dianjurkan untuk mematuhi daftar yang berisi hubungan antara batas-batas pernapasan oksigen dengan terjadinya keracunan oksigen pada paru. Gunakanlah metode untuk menghitung hubungan tersebut.

Penggunaan 100% oksigen atau oksigen yang diperkaya dalam campuran gas pernapasan untuk dekomresi dalam air sering digunakan oleh penyelam profesional dan penyelam militer. Dengan pengawasan yang ketat hal tersebut cukup aman, tetapi tidak untuk penyelam amatir (*sport divers*).

Bernapas dengan oksigen murni di permukaan sering digunakan sebagai pengobatan tambahan bagi berbagai penyakit yang dialami penyelam. Dengan memperhatikan faktor-faktor bahaya kebakaran dan keracunan oksigen, cara tersebut sangat berguna pada kasus-

kasus barotrauma paru, penyakit dekompresi, nyaris tenggelam (*near drowning*), keracunan karbon monoksida, dan *shock* akibat berbagai sebab. Juga berguna untuk dihirup setelah tiba di permukaan guna memperkecil kemungkinan terjadinya penyakit dekompresi setelah melakukan penyelaman dalam.

Janganlah menyimpan oksigen di dalam silinder SCUBA yang biasa karena bahaya kebakaran dan ledakan. Semua personel yang terlibat pada penggunaan oksigen haruslah mengetahui benar semua aspek, dan harus waspada dan sanggup mengobati semua gejala keracunan oksigen.

Bab XVI

Keracunan Karbon Dioksida (CO₂)

A. Definisi

Karbon dioksida merupakan gas yang tak terpakai yang dihasilkan pada saat jaringan tubuh mengambil oksigen. Biasanya CO₂ terdapat dalam bentuk larutan di dalam jaringan dan darah dan akan dikeluarkan secara efektif melalui paru-paru. Bila terkumpul dalam jumlah tertentu di dalam tubuh, ia akan bersifat racun.

Kerja membutuhkan kecepatan pembentukan energi yang tinggi. Untuk mencapainya tubuh harus mengambil lebih banyak oksigen dan mengeluarkan CO₂ lebih banyak. CO₂ yang berlebihan ini dikeluarkan melalui paru-paru. Juga harus dikeluarkan dari alat selam untuk mencegah agar tidak terhisap kembali.

Penyebab utama keracunan CO₂ pada penyelam ada hubungannya dengan pemakaian alat selam karena digunakan zat kimia yang dimaksudkan untuk menyerap CO₂ dari napas yang dikeluarkan sebelum gas pernapasan dihirup kembali.

Pembentukan CO₂ bisa disebabkan oleh:

- Kerusakan pada sistem penyerap CO₂ akibat zat penyerap kurang efisien. Ini mungkin disebabkan ukuran butir-butir zat kimia tersebut yang tidak sesuai, suhu yang rendah atau pencemaran oleh air laut.

- Kesalahan bentuk peralatan, seperti kesalahan kanisternya atau pipa penghubungnya.
- Kekeliruan pemasangan yang menyebabkan pengepakan kanister penyerap yang tidak baik, kerja yang berlebihan sehingga terlalu banyak CO₂ yang terkumpul, atau pemakaian sistem penyerap yang telah lewat waktu.

Keracunan CO₂ dapat terjadi pada penyelam yang menggunakan alat selam klasik (memakai helm) bila aliran gas penapasan tidak mencukupi untuk mengeluarkan CO₂ yang dikeluarkan. Jumlah gas yang diperlukan makin meningkat sesuai dengan bertambahnya kedalaman. Keadaan yang sama juga dapat terjadi di dalam ruang rekompresi.

Keracunan CO₂ pada penyelam SCUBA hampir tiada mungkin terjadi kecuali bila udara pernapasannya tercemar oleh CO₂, karena udara yang diembuskan keluar oleh penyelam akan langsung dikeluarkan ke air. Tingkat keracunan yang rendah mungkin terjadi pada penyelaman tahan napas yang lama sewaktu melakukan kerja, penggunaan alat selam yang tidak sempurna karena terdapat sedikit hambatan yang sangat dalam yaitu ventilasi paru akan berkurang.

Gejala keracunan karbon dioksida (hiperkapnia) berbeda-beda tergantung dari kecepatan timbulnya gejala dan derajat keracunannya. Pembentukan CO₂ yang sangat cepat akan menyebabkan ketidaksadaran sebelum gejala-gejala lain terlihat. Pembentukan CO₂ yang lambat akan menimbulkan berbagai gejala sebelum hilangnya kesadaran. Gejala-gejala tersebut adalah:

- Sakit kepala berdenyut-denyut biasanya di daerah dahi. Nyeri ini bisa berat dan berlangsung beberapa jam setelah penyebabnya diatasi.
- Napas yang pendek, cepat, dan dalam. Ini bisa diikuti dengan pernapasan berat pada kasus yang serius.
- Muka jadi merah dan berkeringat. Di bawah air hal ini mungkin tidak terlihat.

- Kepala terasa ringan, otot menggeletar, tremor atau kejang bila pembentukan CO₂ terus terjadi.
- Penglihatan berkurang dan tidak sadar
- Kematian biasanya akibat berhentinya denyut jantung atau pernapasan.

Seorang penyelam melihat bahwa rekannya berenang secara kacau beberapa menit setelah menyelam dengan alat selam. Korban tidak mampu menjawab isyarat dan dibawa kembali ke permukaan, setelah alat selamnya diberi ventilasi. Terlihat korban bernapas sangat cepat dan muka merah. Ia kembali normal dengan cepat setelah beberapa menit bernapas dengan udara tetapi mengeluh sakit kepala berdenyut-denyut yang tidak hilang dengan pemberian aspirin. Penyelidikan selanjutnya membuktikan bahwa korban lupa mengisi kanisternya dengan penyerap sebelum ia menyelam.

Penyelam disarankan untuk menghentikan aktivitas ototnya, mengalirkan udara segar ke dalam alat selamnya dan naik ke permukaan dengan bantuan jaket pelampungnya. Bila sumber pencemaran telah disingkirkan, dapat diberikan 100% oksigen melalui masker dan dapat diberikan tindakan pertolongan lain bila diperlukan. Obat anti nyeri bisa diberikan tetapi biasanya tidak efektif.

Ventilasi yang memadai dari semua gas yang dikeluarkan dari helm penyelam, ruang dekompresi dan sebagainya, dan pengikatan CO₂ oleh zat kimia penyerap di dalam alat selam harus benar-benar diperlihatkan. Persentase dari CO₂ yang dihirup akan makin bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Walaupun 3% CO₂ yang dihirup di permukaan hanya akan menimbulkan pengaruh yang ringan, tetapi pada kedalaman 30 meter (4 ATA) kadarnya akan menjadi 12% suatu tingkat yang sangat membahayakan.

Walaupun kehilangan kesadaran pada penyelam SCUBA sangat jarang terjadi, pengaruh racun dari kelebihan CO₂ pada penyelam yang menggunakan alat selam sirkuit tertutup merupakan penyebab

ketidaksadaran yang tersering. Telah banyak zat-zat kimia yang digunakan untuk menyerap kelebihan CO₂ yang dikeluarkan dari pernapasan, tetapi sampai sekarang belum ditemukan cara yang paling menyembuhkan.

Bab XVII

Keracunan Karbon Monoksida (CO)

A. Definisi

Karbon Dioksida merupakan gas hasil produksi sampingan dari pembakaran hidrokarbon (misalnya minyak) oleh oksigen. Sering berupa hasil dari pembakaran mesin, pembakaran produk-produk asal minyak tanah (plastik, minyak, batubara, dan sebagainya) dan juga terdapat dalam jumlah kecil pada asap rokok.

Karbon monoksida (CO) merupakan racun bagi semua binatang yang bernapas dengan udara dan pengaruhnya disebabkan kekurangan oksigen pada jaringan. Dalam aliran darah CO berkombinasi dengan hemoglobin (Hb) 200 kali lebih baik daripada oksigen. Kombinasi hemoglobin dengan oksigen merupakan mekanisme yang utama pada pengangkutan oksigen dari paru-paru ke jaringan. Bila terdapat CO, ia akan terikat dengan hampir semua Hb yang ada sehingga hanya sedikit tersisa Hb untuk berkombinasi dengan oksigen. Jumlah CO yang terdapat dalam udara yang dihirup, lamanya dihirup dan kecepatan pernapasan menentukan jumlah karboksihemoglobin (kombinasi hemoglobin/karbon monoksida) di dalam darah. Kombinasi ini secara langsung menentukan gejala apa yang terlihat, beratnya gejala, dan kecepatan terjadinya gejala.

$O_2 + Hb \rightarrow HbO_2$ ---kombinasi oksigen-hemoglobin yang normal

$O_2 + Hb + CO \rightarrow HbCO + \text{sedikit } HbO_2$

O_2 = Oksigen

Hb = Hemoglobin

HbO_2 = Oksihemoglobin

$HbCO$ = Karboksihemoglobin.

Gejala berupa hipoksia yang progresif akibat berkurangnya jumlah oksigen yang dibawa ke dalam jaringan oleh darah. Bila jumlah hemoglobin yang terikat dengan CO sudah mencapai jumlah tertentu, akan sedikit oksigen yang dibawa ke dalam jaringan dan menyebabkan kematian. Jaringan yang paling peka terhadap hipoksia adalah otak dan jantung. Kedua jaringan ini yang terutama terpengaruh. Gejala klinis yang tampak adalah sebanding dengan jumlah karboksihemoglobin yang terdapat di dalam darah.

Pengaruh CO pada manusia berhubungan langsung dengan kadarnya, kecepatan napas dan lamanya CO dihirup. Pada kadar 400 ppm, pengaruhnya terjadi setelah 1 jam. Bila kadarnya 1200 ppm, gejala terjadi hanya dalam 20 menit. Oleh karena tekanan parsial CO akan meningkat dengan bertambahnya tekanan, suatu tingkat pencemaran yang tampaknya aman di permukaan, akan merupakan racun pada kedalaman. Misalnya 400 ppm (0,04%) pada 1 ATA akan menyebabkan gejala setelah 60 menit. Gas yang sama yang dihirup pada ATA kadar CO nya akan jadi 1200 ppm (0,12%) dan akan menyebabkan gejala dalam 20 menit. Pengaruhnya yang nyata pada penyelam sukar dinilai karena banyak oksigen yang dibawa ke jaringan terlarut dalam plasma sehubungan dengan meningkatkan tekanan parsial oksigen pada kedalaman, dan pengaruh hipoksia dari karbon monoksida. Pengaruh CO hanya akan tampak sewaktu naik ke permukaan.

Singkirkan gas yang tercemar secepatnya dan berikan 100% O₂ lewat masker. Tindakan pertolongan kedaruratan (pernapasan mulut ke mulut, dan pengurutan jantung) dapat dilakukan hingga dapat diberikan cara yang lebih efisien.

Pengobatan terpilih di rumah sakit adalah dengan pemberian oksigen murni di dalam ruang rekompresi dengan tekanan 3 ATA, yaitu terapi oksigen hiperbarik. Pada tekanan ini cukup banyak oksigen yang terlarut secara fisik bukan dalam ikatan dengan Hb) di dalam darah dapat dengan cepat menghilangkan ikatan HbCO sehingga terbentuk Hb normal yang mudah terikat dengan oksigen.



Pencemaran CO pada udara napas penyelam biasanya disebabkan:

- Udara yang digunakan untuk mengisi silinder tercemar oleh polusi hasil industri atau sumber-sumber yang berkadar CO tinggi, misalnya bensin.
- Masuknya CO secara tak sengaja ke dalam udara silinder karena silinder diisi dalam ruangan yang terdapat kompresor bensin atau disel atau udara yang keluar dari knalpot.
- Pembentukan CO di dalam kompresor atau pipa penghubung karena penggunaan pelumas yang tidak baik atau kompresor yang terlalu panas. Kompresor yang terlalu panas menyebabkan minyak “menyala” dan menyebabkan terbentuknya CO serta benda-benda pencemar lainnya.

Standar di Australia (AS CZ18-1972) menentukan syarat-syarat kemurnian udara yang diperlukan untuk gas pernapasan dan harus selalu ditaati. Secara teratur contoh dari udara pernapasan harus diperiksa. Bila tidak sesuai dengan persyaratan, keseluruhan kompresor dan sistem penyaring harus diperiksa.

Keracunan CO pada penyelam SCUBA di Australia sangatlah jarang, tetapi bila kemurnian suplai udara tidak diawasi dengan ketat, mungkin di kemudian hari akan terjadi kematian. Bila terdapat gejala yang ringan seperti sakit kepala, mual atau pusing pada beberapa orang penyelam yang bernapas dengan udara dari sumber yang sama, harus dicurigai terjadinya pencemaran dan kemurnian udara harus diperiksa.

Bab XVIII

Hipoksia

A. Definisi

Oksigen berperan penting pada pembentukan energi yang dibutuhkan tubuh. Proses dasar yang mencakup bahan makanan akan “dibakar” di dalam sel-sel tubuh. Proses ini memerlukan oksigen dan terbentuklah panas serta bentuk energi yang lain, juga karbon dioksida. Makin besar pemakaian energi makin banyak oksigen yang diperlukan. Sel tubuh tak dapat hidup lama tanpa oksigen dan sel otak paling peka terhadap kekurangan oksigen. Bila cukup banyak terdapat kekurangan oksigen, penderita akan kehilangan kesadaran dan mati dengan cepat. Di waktu istirahat manusia membutuhkan sekitar 250-300 ml oksigen/menit. Waktu kerja kebutuhan ini meningkat 10-15 kali lipat yaitu 4,5 liter/menit.

Hal-hal yang dapat mengganggu suplai oksigen kepada sel antara lain:

- Kekurangan oksigen pada gas pernapasan akibat salah pencampuran gas
- Kerusakan peralatan
- Oksigen tak dapat masuk ke dalam paru-paru karena hambatan pada jalan napas misalnya tenggelam.
- Oksigen bisa masuk ke dalam paru-paru tetapi tak bisa dipindahkan ke dalam darah, misalnya kerusakan paru akibat keracunan oksigen.

- Oksigen bisa masuk ke dalam paru dan darah tetapi tidak bisa diteruskan ke jaringan, misalnya adanya sumbatan pada pembuluh darah kecil oleh gelembung udara pada emboli udara.
 - Oksigen bisa mencapai jaringan tetapi tak bisa dimanfaatkan, misalnya keracunan jaringan oleh produk beracun seperti CO dan sebagainya.
1. Seorang penyelam yang bernapas melalui alat selam *semi-closed circuit* hilang kesadarannya sesaat setelah meninggalkan permukaan. Ia dibawa naik ke permukaan dan diberikan 100% oksigen. Mukanya yang semula kebiruan berubah jadi merah. Kemudian diketahui bahwa ia tidak mengisi silindernya dengan oksigen tetapi dengan nitrogen murni. Diagnosis: Hipoksia akibat tak ada oksigen dalam gas pernapasan
 2. Seorang penyelam tiba-tiba muncul di permukaan tanpa alat selamnya. Ia memanggil pembantunya dan kemudian kesadarannya hilang. Pada kasus ini emboli udara mengakibatkan hipoksia pada otak. Gelembung udara telah menyumbat pembuluh darah yang menuju otak.

B. Hipoksia dan Penyelaman Tahan Napas

Pada penyelaman tahan napas yang lama tanpa hiperventilasi sebelumnya akan tercapai suatu titik ketika keinginan untuk bernapas tak dapat ditahan lagi. Ini disebut "*the breaking-point*". Kebutuhan untuk bernapas terutama disebabkan oleh naiknya kadar karbon dioksida di dalam darah. Karbon dioksida dibentuk bersamaan dengan penggunaan oksigen. Kurangnya kadar oksigen dalam darah juga akan merangsang untuk bernapas, tetapi secara normal hal ini bukanlah mekanisme pernapasan yang utama. Pada penyelaman tahan napas yang dalam, tekanan air akan menekan paru-paru penyelam hingga tekanan udara di dalam paru akan sama dengan tekanan air. Hal ini mengakibatkan meningkatnya tekanan parsial

oksigen di dalam paru sehingga lebih banyak oksigen yang diserap dibandingkan dengan di permukaan. Pada waktu naik, tekanan pada dan di dalam paru-paru akan berkurang, demikian juga tekanan parsial oksigen. Karena cukup banyak oksigen dari udara yang diambil oleh paru-paru di kedalaman, mungkin sekarang tidak cukup lagi tersedia oksigen di dalam udara untuk menjaga agar penyelam tetap sadar sewaktu naik atau segera setelah tiba di permukaan. Untunglah keadaan ini sangat jarang terjadi.

Hiperventilasi (mengambil napas dalam berulang-ulang dengan cepat) sebelum penyelaman tahan napas sering dilakukan oleh penyelam untuk memperpanjang lama penyelamannya. Hiperventilasi akan mengurangi jumlah karbon dioksida pada saat awal penyelaman dan dengan demikian memperlambat keinginan untuk menghirup napas. Selama masa penundaan ini oksigen di dalam paru-paru dan di dalam tubuh terus digunakan hingga akhirnya tidak mencukupi untuk fungsi sel-sel otak dan secara tiba-tiba penyelam kehilangan kesadaran. Hal ini terjadi tanpa adanya gejala sebelumnya, sebelum penyelam mencapai "*breaking point*" dan penyelam akan tenggelam kecuali bila dapat ditolong dengan segera. Juga hal tersebut sering terjadi di saat akan naik ke permukaan karena alasan yang sama seperti yang disebutkan di atas. Cara hiperventilasi ini tidak lagi diajarkan oleh instruktur yang bertanggung jawab.

1. Seorang penyelam muda berusaha untuk memecahkan rekor berenang di bawah air di suatu kolam renang. Ia melakukan hiperventilasi sebelum menyelam. Pada setengah jalan di putaran kedua ia berhenti berenang dan tenggelam. Untunglah ia bisa segera ditolong dan mendapatkan pernapasan buatan hingga jiwanya tertolong.
2. Seorang penyelam senior yang ikut serta dalam perlombaan memamah ikan ditemukan tewas di dasar laut dengan seekor ikan yang terpanah berada di dekatnya. Bedah mayat tidak

menunjukkan adanya kelainan. Ia diketahui telah melakukan hiperventilasi.

Pada diagram $PACO_2$ menunjukkan tekanan parsial CO_2 di dalam darah arteri. Garis lengkung (kurve) menunjukkan tekanan parsial oksigen di dalam darah arteri. Terlihat di sini bahwa setelah hiperventilasi dibutuhkan waktu yang cukup lama bagi CO_2 untuk mencapai *breaking point*. Pada saat itu tekanan parsial oksigen telah turun hingga batas yang membahayakan.

C. Hipoksia dan Peralatan Selam

Penyebab hipoksia tersering pada penyelam SCUBA adalah:

1. Habisnya suplai gas pernapasan, perencanaan penyelaman yang baik dan adanya alat pengukur isi gas dapat mengatasi problem ini.
2. Kerusakan alat, gas yang terdapat dalam silinder mungkin cukup tapi tak bisa sampai pada penyelam.
3. Kadar oksigen yang rendah, gas yang tidak seharusnya (misalnya nitrogen) secara tak sengaja diisikan ke dalam silinder. Kadar oksigen rendah (10% atau kurang) yang diperuntukan bagi penyelaman dalam atau penyelaman saturasi akan menyebabkan hipoksia bila dihirup di dekat permukaan.

Pada alat selam dengan sirkuit udara pernapasan, selain yang tersebut di atas ada hal-hal lain yang dapat menyebabkan hipoksia yaitu:

1. Kecepatan aliran yang tidak mencukupi, pada alat selam *semi closed circuit* terdapat pengaliran gas yang tetap ke dalam kantung udara. Bila kecepatan aliran tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan oksigen penyelam, gas-gas lembam (biasanya nitrogen) akan terkumpul di dalam kantung udara. Jumlah oksigen akan terus berkurang hingga terjadi

- hipoksia. Keadaan yang sama juga akan terjadi bila penyelam membutuhkan oksigen lebih banyak daripada yang tersedia.
2. Hipoksia karena pengenceran, khususnya terjadi pada alat selam yang menggunakan oksigen sebagai gas pernapasan. Bila penyelam tak mampu membersihkan paru-parunya dari udara atau menghirup udara di sekitarnya dan kemudian diembuskan ke dalam alat selamnya, udara, dan dengan demikian nitrogen, akan tetap berada di situ. Bernapas melalui alat selam tersebut akan mengambil oksigen terus-menerus hingga akhirnya tinggal nitrogen yang tersisa. Penyelam akan berpikir bahwa semuanya baik-baik saja karena alat selamnya tetap penuh. Risiko ini sebagian dapat diatasi dengan terus-menerus mengalirkan oksigen ke dalam alat selamnya.
 3. Hipoksia waktu naik, dengan salah satu dari mekanisme di atas kadar oksigen akan turun hingga kurang dari 20%. Udara yang berkadar oksigen 10% mungkin akan tetap aman bila dihirup pada kedalaman 10 meter karena kadarnya sama dengan 20% di permukaan. Hipoksia akan terjadi bila penyelam naik ke permukaan karena oksigen juga akan berkurang.

Keluhan dan gejala hipoksia akan terlihat bila kadar oksigen dalam darah arteri kurang dari 50 mmHg. Penurunan yang cepat hingga mencapai kadar tersebut akan menyebabkan hilangnya kesadaran tanpa ada tanda-tanda sebelumnya. Penurunan yang lambat akan menyebabkan timbulnya gejala-gejala awal seperti kesukaran koordinasi gerakan. Hal ini terlihat sebagai ketidakmampuan untuk melakukan tugasnya.

Hal ini mungkin tidak dirasakan oleh penderita. Rasa sehat, rasa percaya diri ataupun acuh tak acuh bisa terjadi. Sebagian penyelam mungkin merasakan kelelahan atau sakit kepala atau penglihatan ganda. Akan terlihat peningkatan kecepatan dan kedalaman napas.

Bila hipoksia berlanjut dan menjadi berat, akan terlihat warna kebiruan pada bibir, mulut dan jari-jari, tetapi gejala ini agak sukar untuk ditafsirkan karena kedinginan juga memperlihatkan gejala yang serupa.

Kejang-kejang atau kekakuan rahang akan mendahului atau terjadi setelah kehilangan kesadaran. Bila tidak diatasi, hipoksia akan menyebabkan kerusakan otak dan jantung dengan kegagalan pernapasan atau kegagalan denyut jantung. Dan ini akan berakhir dengan kematian.

Kadang-kadang penyakit yang telah ada sebelumnya akan diperberat dengan adanya hipoksia yang ringan. Pada keadaan ini pengaruh hipoksia biasanya tidak begitu dipikirkan, misalnya hipoksia akan menyebabkan serangan jantung pada penderita penyakit jantung koroner.

Pada beberapa kasus diagnosis hipoksia tidaklah begitu mudah karena gejala dari beberapa penyakit seperti nitrogen narkosis, keracunan oksigen, kelebihan CO₂, emboli udara serebral atau penyakit dekompresi mirip seperti gejala-gejala hipoksia sampai dokter menentukan diagnosisnya. Kenyataannya, pada penyakit-penyakit seperti disebutkan di atas hipoksia merupakan problem yang umum terjadi dan pertolongan terhadap hipoksia akan sangat membantu. Pengobatan dari berbagai bentuk hipoksia mencakup koreksi dari penyebab hipoksia.

Pada kebanyakan kasus yang terjadi pada penyelam biasanya diperlukan tindakan pertolongan yang lazim seperti:

1. Jalan napas (bersihkan mulut dan sebagainya)
2. Pernapasan (mulut ke mulut)
3. Sirkulasi (bila perlu lakukan pengurutan jantung).

Cara melakukan tindakan pertolongan kedaruratan yang benar tercantum pada lampiran dari buku ini. Pada semua kasus 100% oksigen harus diberikan sesegera mungkin.

Walaupun tindakan yang khusus sukar untuk dikerjakan, beberapa keadaan harus dihindarkan, misalnya:

- Jangan melakukan penyelaman tahan napas yang dalam dan lama
- Sama sekali dilarang melakukan hiperventilasi sebelum penyelaman tahan napas.
- Yakinkan bahwa semua peralatan bekerja normal dan bahwa tersedia suplai gas yang cukup dan benar.
- Janganlah tergantung pada katup cadangan tipe “J” yang normal karena keamanannya tak terjamin. Lebih baik dan lebih aman gunakanlah alat pengukur isi silinder.
- Patuhi prosedur penyelaman sesuai alat selam yang digunakan dan pastikan kebenaran dari campuran gas dan kecepatan aliran yang digunakan.
- Gunakanlah jaket pelampung yang dapat digembungkan di dalam air bila terdapat gejala awal dari kehilangan kesadaran. Seorang penyelam yang tak sadar yang mengapung di permukaan air, apalagi bila kepalanya terletak di atas air, mempunyai kesempatan besar untuk tetap hidup. Bila ia masuk ke dalam air maka ia akan tenggelam. Sangat penting untuk menggunakan jaket pelampung yang dapat menahan kepala penyelam yang tak sadar tetap berada di atas air.

Obati semua kedaruratan akibat penyelaman dengan 100% oksigen dan tindakan pertolongan kedaruratan lain bila diperlukan. Hipoksia walaupun bila bukan merupakan penyebab utama, sering merupakan komplikasi dari kelainan lain dan harus dicegah atau diobati.

Bab XIX

Hilangnya Pendengaran (Ketulian) pada Penyelam

Perasaan tuli pada satu atau kedua belah telinga merupakan salah satu dari keluhan-keluhan yang paling sering dirasakan oleh penyelam. Namun demikian kebanyakan kasus yang diperiksa secara audiometri tidaklah menunjukkan kelainan. Keluhan yang sering menyertai perasaan tuli adalah perasaan rasa “penuh” atau rasa adanya “sumbatan” pada telinga yang terkena. Keluhan ini biasanya disertai adanya penyumbatan dan pembengkakan gendang telinga dan jaringan yang membatasi rongga telinga tengah, dan ini semua diakibatkan barotrauma telinga tengah waktu turun. Kadang-kadang rasa tuli disertai dengan adanya kehilangan pendengaran yang nyata pada audiometri dan pada kasus ini mungkin terdapat satu atau dua tipe, atau keduanya.

A. Tuli konduktif

Getaran suara di udara atau di dalam air akan diantarkan melalui telinga luar ke gendang telinga. Selanjutnya melalui tiga buah tulang pendengaran yang kecil akan diantarkan ke organ pendengaran. Tiap gangguan pada sistem tersebut akan menyebabkan tuli konduktif.

B. Tuli sensorineural

Organ pendengaran (*cochlea*) merupakan suatu bangunan yang disuplai oleh saraf-saraf yang mengubah getaran suara (yang

dihasilkan oleh sistem konduktif) menjadi rangsangan saraf yang diteruskan ke otak. Kerusakan yang terjadi pada organ tersebut atau pada sarafnya akan menyebabkan tuli sensorineural.

<p>Penyebab tuli konduktif:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sumbatan pada saluran telinga luar, kotoran telinga yang berlebihan atau oleh pertumbuhan tulang kecil yang sering terjadi pada penyelam • Adanya lubang atau pecahnya gendang telinga akibat barotrauma waktu turun (<i>ear squeeze</i>), ekualisasi telinga yang terlalu kuat atau rentan gelombang akibat ledakan bawah air atau di sekitar penyelam • Kelainan pada sistem konduktif di telinga tengah. Ini bisa disebabkan infeksi telinga tengah (<i>otitis media</i>). Ekualisasi telinga yang terlalu kuat, atau barotrauma telinga tengah waktu turun (<i>squeeze</i>) 	<p>Penyebab tuli sensorineural:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suara yang sangat keras terutama oleh karena terlalu lama berada dekat kompresor, di dalam ruangan rekompresi dan lain sebagainya. • Penyakit dekompresi yang mengenai organ pendengaran di dalam telinga bagian dalam • Barotrauma telinga bagian dalam karena organ pendengaran rusak, atau pecahnya lapisan antara telinga tengah dengan telinga dalam (<i>round window</i>)
---	---

Adanya sumbatan kotoran telinga akan menyebabkan rasa tersumbat atau perasaan kurang pendengaran sebelum atau setelah penyelaman. Sewaktu menyelam mungkin terasa pusing. Pada pemeriksaan telinga oleh dokter akan terlihat sumbatan total pada saluran telinga oleh kumpulan kotoran telinga. Infeksi pada telinga akan menimbulkan rasa sakit yang akan terasa lebih berat bila kuping ditarik. Hal ini sangat mudah didiagnosis. Pertumbuhan tulang kecil (*eksostosis*) Sangat jarang menyebabkan sumbatan. Sumbatan biasanya terjadi bila pada eksostosis juga terdapat gumpalan kotoran telinga atau infeksi.

Adanya lubang atau robekan gendang telinga akan menyebabkan rasa adanya gesekan di telinga oleh penyelam sewaktu ia melakukan ekualisasi. Bila terjadi di bawah air, biasanya akan didahului oleh rasa sakit karena tekanan akan menekan gendang telinga sebelum pecah.

Perasaan adanya air dingin yang masuk ke dalam telinga, atau bahkan mengalir ke tenggorokan sering terjadi. Biasanya juga akan terasa pusing, tetapi hanya sebentar. Pada pemeriksaan akan terlihat robekan gendang telinga dan mungkin terdapat darah pada saluran telinga. Telinga akan sedikit terasa sakit dan ada ketulian ringan. Robekan gendang telinga dapat terjadi pada kedalaman di atas 2-4 meter akibat barotrauma waktu turun. Kadang-kadang gendang telinga dapat robek bila melakukan ekualisasi yang terlalu kuat dan akan terasa nyeri dan suara gesekan pada telinga secara tiba-tiba. Hal ini terjadi bila telah ada kerusakan gendang telinga sebelumnya akibat barotrauma, infeksi, atau gendang telinga sebelumnya telah berlubang.

1. Seorang penyelam yang berenang dekat rekannya tiba-tiba merasa sakit pada telinga kirinya, ketika sepatu renang rekannya tersebut menyapu air di dekatnya. Juga ada rasa pusing tapi segera hilang. Ia lalu naik ke permukaan dan ternyata dari telinga kirinya keluar sedikit darah. Diagnosis: pecahnya gendang telinga akibat tekanan gelombang air dari sepatu renang. Pusingnya akibat masuknya air dingin ke dalam telinga tengah lewat robekan gendang telinga.
2. Seorang tua bekas penyelam profesional dengan helm mendemonstrasikan kemampuannya mengeluarkan lingkaran-lingkaran asap dari kedua telinganya. Ia menyatakan bahwa pada saat terakhir dari kariernya ia tidak pernah mengalami kesukaran waktu melakukan ekualisasi telinga. Diagnosis: Robekan gendang telinga yang berulang-ulang yang kadang-kadang tidak menutup. Asap berjalan

lewat *Eustachius*. Pada akhir dari kariernya telinganya dengan sendirinya berekualisasi oleh karena adanya lubang yang tetap di gendang telinganya. Pada waktu pesta ia sering menengok ke arah yang salah. Diagnosis kurang pendengaran akibat barotrauma yang berulang-ulang.

Barotrauma telinga tengah akan menyebabkan rasa sakit sewaktu turun. Sewaktu naik bisa terjadi rasa sakit dan kurang pendengaran yang disertai perasaan adanya air di dalam telinganya. Kadang-kadang terdapat gelembung-gelembung di dalam telinga disertai perubahan pendengaran bila posisi kepala berubah-ubah. Infeksi di telinga tengah (*otitis media*) akan menyebabkan rasa sakit pada telinga yang terkena.

Pada leher bisa teraba kelenjar yang lunak pada daerah yang sama dengan telinga yang terkena, serta terdapat kekurangan pendengaran yang ringan.

Timbulnya ketulian setelah terkena suara yang keras biasanya sering tidak diketahui selama bertahun-tahun. Pada beberapa kasus suara yang keras bisa menyebabkan kehilangan pendengaran seketika. Hampir semua suara yang dapat menyebabkan ketulian akan mengenai kedua belah telinga walaupun kadang-kadang hanya satu telinga yang terpengaruh. Ketulian ini biasanya mengenai suara-suara frekuensi tinggi.

Kurang pendengaran terhadap frekuensi tinggi juga mencakup kesulitan untuk mendengar huruf-huruf mati seperti "s" atau "ch". Pada kebanyakan kasus, ketulian sensorineural hanyalah sementara. Akan tetapi, bila terus-menerus mendengar suara keras, ketulian akan menetap dan secara progresif akan memburuk. Ketulian jenis ini sering terjadi pada petugas ruang rekompresi.

Gejala penyakit dekompresi bisa berupa hilangnya pendengaran pada satu atau kedua telinga, seperti halnya rasa pusing. Sayangnya dokumentasi tentang hal ini amat sedikit dan penyebab yang

sebenarnya belum banyak diketahui. Kadang-kadang telinga merupakan satu-satunya lokasi penyakit dekompresi. Hal ini biasanya terjadi pada penyelam yang menggunakan campuran helium/oksigen sebagai gas pernapasannya. Hilang pendengaran dan pusing sering terasa terutama setelah pengurangan kedalaman yang relatif pendek di saat melakukan prosedur dekompresi. Penyebab hal ini belum diketahui.

Barotrauma telinga bagian dalam akibat barotrauma telinga tengah, atau setelah melakukan ekualisasi telinga yang terlalu kuat bisa menyebabkan ketulian yang mendadak pada telinga yang terkena. Ketulian bisa juga terjadi setelah beberapa hari dan makin hari makin memburuk. Telinga sering berdenging, seperti halnya juga sering terasa pusing, mual, dan muntah. Keadaan ini disebabkan kerusakan pada selaput di dalam organ pendengaran, ini dikenal sebagai "*round window fistula*", yaitu robekan pada *round window*. Bila keadaan tersebut dapat diketahui dalam beberapa hari pertama, robekan dapat diperbaiki dengan operasi, dan ketulian serta rasa pusing akan membaik.

Seorang penyelam mengalami kesulitan ekualisasi sewaktu melakukan penyelaman ke kedalaman 10 meter. Ia meneruskan penyelamannya dengan memaksakan ekualisasi telinga secara kuat karena diperintahkan demikian. Kemudian telinga kanannya berdenging disertai rasa sakit dan pusing sehingga ia lalu naik ke permukaan. Tes pendengaran memperlihatkan adanya hilang pendengaran pada telinga kanan yang makin memburuk dalam dua hari berikutnya. Kemudian dilakukan operasi telinga dan pada minggu berikutnya pendengarannya hampir normal kembali. Juga rasa pusing menghilang setelah operasi. Diagnosis: *Round window fistula* (robekan). Robekan dapat diperbaiki dengan operasi dan pendengaran juga membaik.

Setiap kasus hilangnya pendengaran pada penyelam harus segera diperiksa oleh dokter yang berpengalaman di bidang ini. Tes pendengaran berupa audiometri hantaran udara dan hantaran tulang harus dilakukan pada frekuensi 500-8000 Hz. Riwayat penyelaman dan hal-hal yang terjadi sebelum dan sesudahnya, bersama-sama dengan audiometri dapat memastikan diagnosis. Kadang-kadang juga perlu dilakukan tes keseimbangan.

Pengobatan secara umum tergantung dari penyebab dan beratnya ketulian:

1. Jangan melakukan penyelaman ataupun menggerakkan gendang telinga hingga kelainannya dapat diatasi. Hal ini berlaku bagi semua kasus.
2. Keluarkan kotoran atau obati infeksi yang mungkin memengaruhi saluran telinga.
3. Berikan dekongestan dan antibiotika (kalau perlu) untuk kasus-kasus perforasi (lubang) atau robekan gendang telinga. Sering kali gendang telinga perlu diperbaiki dengan cara operasi. Perforasi sering sembuh dengan sendirinya dalam 3-6 minggu.
4. Pengobatan yang sama harus diberikan pada barotrauma telinga tengah yang diakibatkan tiap penyebab. Kasus seperti ini biasanya akan sembuh sempurna setelah 5-10 hari kecuali bila terdapat kelainan pada telinga bagian dalam atau terkomplikasi infeksi.
5. Operasi telinga bagian dalam mungkin diperlukan pada kasus hilang pendengaran yang mendadak atau ketulian sensorineural yang progresif. Pengobatan pada kasus-kasus seperti ini tidaklah selalu berhasil dengan baik dan sering terjadi kehilangan pendengaran yang menetap. Pada penderita demikian sebaiknya dilarang menyelam untuk selamanya.

Semua personel yang terlibat dalam penyelaman harus diperiksa oleh dokter berdasarkan Australia Standards Code AS CZ18-1972. Dengan demikian kebaikan pendengaran akan terjamin sebelum melakukan penyelaman. Juga akan membantu untuk menentukan apakah memang benar seorang penyelam menderita kurang pendengaran dan apakah hal tersebut diakibatkan oleh penyelaman. Ini akan membantu penyelam untuk mendapatkan kompensasi atas kelainannya tersebut.

Tidak dibenarkan untuk melakukan penyelaman bila mendapat kesulitan dalam melakukan ekualisasi telinga, dan yang terpenting, janganlah melakukan ekualisasi telinga yang berlebihan. Infeksi gumpalan kotoran telinga, infeksi saluran napas bagian atas, infeksi sinus, dan sebagainya, harus diobati dan dihilangkan sebelum melakukan penyelaman.

Lakukan ekualisasi telinga pada setiap kedalaman. Kecepatan turun dapat dilakukan secara lambat dan frekuensi ekualisasi dapat dipersering sesuai keadaan. Turun dengan posisi berdiri dapat mempermudah ekualisasi.

Bila pendengaran berkurang atau terasa nyeri telinga, penyelam tidak dibenarkan melakukan ekualisasi, bersin ataupun mengembuskan napas melalui hidung. Ia tidak boleh melakukan penyelaman ataupun terbang hingga kelainan dapat diobati dengan memuaskan. Semua kasus yang berat harus dikonsultasikan pada ahli THT berpengalaman dalam operasi telinga bagian tengah, dan lebih baik lagi bila juga mempunyai keahlian kedokteran bawah air.

Semua personel yang bekerja di ruangan yang bersuara keras untuk waktu yang lama harus menggunakan pelindung telinga. Kain wol bukan merupakan pelindung yang efisien dan janganlah dipergunakan. Petugas ruang rekompresi sebaiknya memakai pelindung telinga khusus yang mempunyai katup guna dapat melakukan ekualisasi.

Penyelaman dapat dan sering menyebabkan gangguan pendengaran. Kebanyakan kasus disebabkan oleh sumbatan pada saluran telinga bagian luar atau diakibatkan barotrauma telinga tengah. Untunglah hal ini dapat sembuh dengan sendirinya atau dengan pengobatan yang minimal. Bila kelainan makin jelek karena terus melakukan penyelaman atau akibat pengobatan yang tak sempurna, hal ini dapat menyebabkan ketulian yang menetap dan makin memburuk.

Terdapat beberapa penyelam yang menderita barotrauma telinga dalam yang berat atau yang selalu mendengar suara yang keras di mana pada kasus-kasus seperti ini biasanya berakhir dengan kehilangan pendengaran yang permanen dan tak dapat disembuhkan. Bila disertai dengan gangguan keseimbangan, kasus seperti ini akan menyebabkan penyelam kehilangan pekerjaannya. Penyelam yang kelainan tersebut haruslah diperiksa secara teliti dan hanya pada beberapa keadaan mereka diperbolehkan kembali menyelam atau bekerja di ruang rekompresi.

Bab XX

Disorientasi Di Bawah Air

Di bawah air, sangatlah penting bagi penyelam untuk mengukur kedalamannya, jarak, dan arahnya agar ia dapat kembali dengan selamat ke permukaan. Pada keadaan biasa di daratan, kita tergantung pada pandangan, keseimbangan, sentuhan dan posisi kaki untuk menentukan orientasi kita terhadap ruangan. Bahkan pada keadaan penyelaman yang terbaik pun terdapat gangguan pada pandangan, dan ini akan bisa berkurang hingga nol bila keadaannya sangat buruk (air yang gelap malam hari dan sebagainya). Perasaan yang ditimbulkan oleh pengaruh daya tarik bumi terhadap tubuh seperti sentuhan dan posisi kaki karena pengaruh daya tarik bumi hampir tidak ada bila terganggu seseorang menyelam ke dalam air dan daya apung netral. Pada keadaan ini, rangsangan daya penglihatan yang tidak mencakupi akan menyebabkan kesukaran untuk menentukan arah dan jarak di dalam air.

Dengan demikian daya orientasi akan sangat tergantung pada organ keseimbangan. Ketergantungan ini melampaui ketergantungan terhadap organ ini di daratan. Bila sistem ini terganggu, akan timbul rasa pusing dan vertigo. Bila gangguan cukup berat untuk diatasi penderita, atau bila penyelam tersebut muntah, mengalami gangguan penglihatan atau tidak sadar, keselamatan jiwa penyelam akan sangat membahayakan.

Penyelam berpengalaman mempercayakan daya orientasinya pada beberapa hal tertentu bila daya pandang berkurang, yaitu:

- Naiknya gelembung-gelembung udara napas ke permukaan
- Kemudahan menarik napas bila bagian tertentu dari alat selam berada pada posisi tertentu terhadap permukaan, misalnya pipa udara ganda
- SCUBA lebih ringan diisapnya bila alat pengisap (*mouthpiece*) terletak di atas regulator, yaitu sewaktu berenang pada punggungnya.
- Benda-benda yang mempunyai daya apung negatif seperti ikat pinggang berbeban, alat pengukur tekanan dan sebagainya akan tetap terpengaruh daya tarik bumi dan akan jatuh ke bawah.
- Mengembangnya ruang udara di dalam tubuh waktu naik dan menciut sewaktu turun seperti telinga, paru-paru, masker.
- Tenggelamnya kaki dan terapungnya dada bila penyelam tidak bergerak (diperjelas dengan sepatu renang yang tidak mengapung).

Semua tanda tersebut merupakan hal-hal yang sangat diperhatikan oleh para penyelam yang waspada dan berpengalaman, tetapi sering diabaikan oleh penyelam pemula yang sangat menjadi panik.

1. Seorang penyelam turun ke air yang dalam dan berhenti sebentar untuk mengikuti seekor ikan. Tiba-tiba ia mengalami disorientasi. Ia tak dapat melihat permukaan maupun dasar laut dan gelembung udara napasnya seolah-olah bergerak mendatar. Kemudian ia melihat rekannya yang bergerak berlawanan arah dengan arah gelembung udaranya dan mengikutinya hingga ke dasar. Dengan terlihatnya dasar laut orientasinya kembali baik. Diagnosis=Disorientasi akibat berkurangnya rangsangan pancaindra.
2. Seorang penyelam yang sedang berlatih menyelam di malam hari kehilangan hubungannya dengan dasar laut. Ia tak

dapat melihat gelembung udara napasnya dan tak dapat membayangkan di mana letaknya permukaan. Akan tetapi dengan merasakan arah dari pipa saluran udaranya ia bisa memperkirakan di mana letaknya permukaan dan berenang ke arah yang berlawanan hingga tangannya menyentuh pasir. Diagnosis=Disorientasi akibat berkurangnya rangsangan pancaindra (penglihatan).

Penyebab terberat dari disorientasi di bawah air adalah vertigo. Vertigo atau perasaan pusing pada penyelam sulit untuk dilukiskan. Ini bisa berupa rasa pusing, ketidakmantapan, perasaan letih, kepala terasa ringan, rasa terayun-ayun, dan sebagainya. Vertigo yang sebenarnya adalah perasaan putaran yang keliru ketika penyelam merasakan bahwa ia berputar-putar atau dunia berputar-putar di sekitarnya. Oleh karena vertigo dan disorientasi sangat erat hubungannya, tidaklah mungkin untuk membahasnya secara terpisah. Selama bertahun-tahun sangat banyak dilaporkan kasus vertigo dan disorientasi di bawah air pada penyelam, dan berbagai riset serta penyelidikan yang insentif yang dilakukan di Australia dan di negara-negara lain telah dapat menerangkan berbagai penyebab dari disorientasi lain telah menerangkan berbagai penyebab dari disorientasi ini.

A. Vertigo akibat perangsangan organ keseimbangan tidak merata

Organ keseimbangan terdiri dari tiga buah saluran setengah melingkar yang berisi cairan dan terletak di telinga bagian dalam. Bila tubuh bergerak cairan dalam alat ini juga akan bergerak dan gerakan ini akan ditangkap oleh sel-sel khusus yang terdapat di dalam organ. Rangsangan saraf dari sel-sel tersebut akan diteruskan ke otak ketika gerakan tersebut ditafsirkan. Bila organ pendengaran dirangsang secara buatan dengan perangsangan pada salah satu sisi lebih besar, otak akan salah menafsirkan informasi yang diterimanya dari keseimbangan dan “mengira” bahwa tubuh sedang bergerak

di ruangan. Kesalahan gerakan ini disebut vertigo dan ini bisa disebabkan oleh perubahan suhu atau tekanan atau perangsangan organ keseimbangan oleh beberapa faktor seperti:

1. Aliran kalori atau panas

Adanya air panas atau pun dingin dalam saluran telinga akan menimbulkan arus yang akan mengalir ke organ keseimbangan. Hal ini akan menyebabkan vertigo bila salah satu telinga lebih dingin atau bila salah satu organ lebih peka dibandingkan lainnya. Bentuk perangsangan organ keseimbangan paling sering dirasakan bila penyelam berenang dengan kepala di bawah. Pada posisi ini salah satu dari pipa setengah lingkaran berada pada bidang vertikal ketika arus mudah dipancarkan.

Penyebab tersering dari rangsangan kalori adalah masuknya air ke dalam salah satu telinga. Beberapa faktor yang menyebabkan terjadi perangsangan pada satu organ saja adalah:

- Sumbatan pada salah satu saluran telinga oleh kotoran, infeksi telinga luar, pertumbuhan tulang, benda asing atau penyumbatan telinga, atau oleh gelembung gas yang menghalangi air dingin memasuki telinga.
- Arus panas hanya masuk ke salah satu telinga
- Masuknya air dingin ke dalam rongga telinga tengah akibat robekan gendang telinga oleh gelombang di bawah air atau sepatu renang yang terlalu dekat. Barotrauma telinga tengah waktu turun atau ekualisasi telinga tengah (Valsava) yang terlalu kuat mempunyai pengaruh yang serupa.

Kebanyakan dari penyebab tersebut dapat dihindarkan dengan meyakinkan bahwa saluran telinga benar-benar bersih dan tidak melakukan ekualisasi berlebihan. Juga dengan tidak melakukan penyelaman terlalu dekat dengan sepatu renang penyelam lainnya dan juga tidak di dekat ledakan bawah air.

2. Barotrauma

Perubahan tekanan yang terjadi di satu telinga waktu turun atau naik mungkin tidak sama dengan perubahan di telinga lainnya akibat pelatihan penyambungan antara *monoplace chamber* dengan *chamber griva* melalui pintu *standart nato (nato falnge)* kelainan pada tuba *Eustachius* atau kelainan anatomis lainnya. Jenis barotrauma yang paling sering menyebabkan perangsangan pada organ keseimbangan adalah Barotrauma telinga luar ("*reversed ear*") akibat penggunaan tutup kepala tipe "*C*", penyumbat telinga, penyumbatan kotoran, dan sebagainya.

- Barotrauma telinga tengah waktu turun ("*Ear Squeeze*")
- Barotrauma telinga tengah waktu naik (*alternobaric vertigo*) ketika pengeluaran gas yang tidak merata dari rongga telinga tengah terutama pada saat waktu naik awal-menyebabkan selisih tekanan pada kedua telinga.
- Ekualisasi telinga (Valsava) terlalu kuat. Penyebab-penyebab ini telah dijelaskan lebih lengkap sebelumnya. Pencegahan adalah dengan tidak melakukan penyelaman jika diketahui ada hal-hal yang dapat menyebabkan barotrauma telinga.

3. Barotrauma telinga dalam

Biasanya merupakan komplikasi barotrauma telinga tengah yang berat, tetapi bisa terjadi tersendiri dan akan mengakibatkan robekan pada selaput tipis di dalam telinga bagian dalam. Kebocoran cairan dari organ pendengaran dan keseimbangan akan terjadi dengan segera atau beberapa saat kemudian akan menyebabkan vertigo, ketulian dan telinga acap berdenging. Bila kelainan tidak diatasi dengan istirahat yang ketat, cegah menyelam, dan operasi bila perlu, akan terdapat gejala-gejala yang menetap.

4. Penyakit Dekompresi

Kadang-kadang gelembung gas dapat merobek organ keseimbangan atau menyumbat pembuluh darah yang mendarahi organ tersebut. Hal ini merupakan gejala yang serius dan memerlukan pengobatan rekompresi segera.

B. Vertigo akibat organ keseimbangan tidak merata

Pada kedua sisi organ keseimbangan mungkin terdapat sedikit perbedaan pada kepekaannya. Hal ini mungkin bawaan sejak lahir atau akibat penyakit atau kerusakan organ tersebut. Respons yang seimbang akan terjadi walaupun rangsangan dari tekanan, suhu, dan sebagainya. Sebenarnya seimbang, dan ini akan menyebabkan vertigo.

Secara klinis, ketidaknormalan salah satu organ yang ringan akan sulit untuk diketahui karena dalam banyak hal akan terlihat normal. Kini telah dikembangkan cara pemeriksaan klinis dan elektronis yang memudahkan untuk mengetahui seseorang yang mempunyai risiko terkena kelainan ini dan juga untuk memperbolehkan untuk menyelam pada seseorang dengan tingkat kelainan tertentu pada salah satu organ. Hal-hal yang dapat menyebabkan ketidakmerataan respons adalah:

1. Aliran kalor atau panas

Kedua organ dapat terangsang oleh adanya air dingin di dalam saluran telinga. Pengaruhnya akan lebih besar bila melakukan renangan secara datar dengan kepala menyudut 30° ke arah bawah yang sering dilakukan di dekat dasar laut. Pada keadaan ini respons pada salah satu organ bisa tidak sama dan akan menyebabkan vertigo.

2. Barotrauma

Bila satu organ keseimbangan lebih peka dari lainnya, rangsangan akibat perubahan tekanan telinga tengah waktu

turun atau naik akan menimbulkan respons yang berbeda pada tiap organ. Kadang-kadang salah satu organ telah rusak akibat kecelakaan penyelaman sebelumnya atau akibat ledakan bawah air, hal ini akan mempermudah timbulnya vertigo.

C. Vertigo akibat tekanan gas yang tak normal

Telah diketahui bahwa vertigo merupakan salah satu gejala dari beberapa kelainan akibat penyelaman, antara lain narkosis gas lembam, HPNS (*High Pressure Neurological Syndrome*) dan keracunan oksigen. Vertigo merupakan gejala yang sering terjadi bila mengisap oksigen bertekanan lebih dari 2 ATA. Juga bisa terjadi sewaktu tekanan oksigen yang tinggi dikurangi ("*oxygen off effects*"), juga setelah kejang-kejang akibat keracunan oksigen. Kadang-kadang pada tekanan oksigen pada tekanan oksigen yang lebih rendah (1-2 ATA) terjadi mual dan muntah. Akan tetapi belum diketahui apakah hal tersebut ada hubungannya dengan vertigo.

Disorientasi merupakan gejala yang khas dari keracunan CO₂ tapi vertigo yang sebenarnya jarang terjadi. Disorientasi dan muntah-muntah pernah dilaporkan terjadi di kapal selam yang diakibatkan oleh bernapas dengan udara segar setelah melakukan aklimitasi akibat bernapas dengan udara berkadar CO₂ yang tinggi sewaktu menyelam. Keadaan ini dikenal sebagai "*carbondioxide off effect*", tapi bisa juga terjadi pada penyelam yang tengah beristirahat setelah melakukan penyelaman yang berat dengan menggunakan alat selam bersirkuit. Hipoksia dan keracunan CO juga dapat menyebabkan pengaruh yang sama seperti keracunan alkohol atau obat-obatan.

D. Vertigo akibat perangsangan pancaindra

Bila rangsangan pancaindra berkurang, seperti berkurangnya daya pandangan, daya apung netral dan sebagainya, disorientasi mudah terjadi dan bahkan derajat vertigo yang paling ringan pun dapat menyebabkan pengaruh yang serius. Hal ini terutama terjadi

pada penyelam pemula atau penyelam amatir karena mereka sering tidak mengenal atau mengabaikan tanda-tanda bahwa kurangnya rangsangan pancaindra ini dapat menyebabkan vertigo pada sebagian penyelam.

Disorientasi dan vertigo di bawah air merupakan keadaan yang cukup berbahaya dan semua penderita harus memeriksakan diri pada dokter yang mampu untuk menafsirkan gejala tersebut berdasarkan riwayat penyelaman. Bila diagnosis tak dapat ditegakkan secara sederhana, terutama bila terdapat serangan yang berulang-ulang, perlu dilakukan pemeriksaan secara klinis dan elektronis lengkap pada kedua belah organ pendengaran oleh seorang spesialis. Jangan lakukan penyelaman hingga penyebabnya diketahui dan disingkirkan. Pengobatan dengan pemberian obat-obatan tidak diperbolehkan bila penyelaman tetap dilakukan karena efek samping obat bisa membahayakan penyelam.

Disorientasi dan pusing di bawah air merupakan keluhan yang sering diderita oleh kebanyakan penyelam. Untungnya keadaan tersebut umumnya berlangsung sementara saja. Namun pada sebagian kecil penyelam hal tersebut bisa menetap dan bahkan bisa membahayakan Jiwa. Pemeriksaan kesehatan penyelam sebelum memulai penyelaman sangatlah penting agar kelainan yang mungkin terdapat bisa diatasi dan dengan demikian keamanan akan terjamin.

Bab XXI

Infeksi Dan Penyelaman

Penyelam bisa menderita infeksi sebagai akibat langsung dari kegiatannya atau infeksi yang telah ada sebelumnya diperberat oleh penyelaman. Infeksi yang paling sering terjadi disebutkan terdahulu pada urutan di bawah ini:

A. *Tinea Pedis (Athlete's Foot, Tinea)*

Merupakan infeksi jamur yang sering terjadi yang mengenai kaki penyelam dan perenang akibat lingkungan yang lembap yang terdapat pada dermaga yang basah, lantai pemandian umum, dan sebagainya. Biasanya hanya berupa gangguan ringan kecuali bila terkomplikasi infeksi sekunder. Hampir semua penyelam pernah merasakan gatal-gatal dan adanya kulit yang kasar dan bersisik di antara jari-jari kaki. Kelainan agak sulit diobati karena kesukaran untuk menjadikan kaki benar-benar kering. Pengobatan berupa merendam kaki di dalam larutan kalium permanganat dan mengoleskan salep antijamur seperti "Tinaden" tiga kali sehari. Menjaga agar kaki tetap kering akan membantu penyembuhan. Pengobatan dilakukan selama tiga minggu sampai semua gejala hilang. Bila terdapat komplikasi atau infeksi yang berlangsung lama, harus konsultasi pada dokter.

B. *Tinea Versicolor* (Panu)

Infeksi jamur yang ringan pada kulit ini bisa menyebabkan gatal atau tanpa gejala sama sekali. Di bawah sinar matahari tampak daerah luas yang warnanya berbeda dengan kulit di sekitarnya. Bila dilihat lebih dekat tampak kulit di daerah tersebut bersisik. Pengobatan terbaik dengan 20% *natrium-tiosulfat* (Hipo) atau lotio/krim "Tinaderm" dioleskan dua hari kali sehari.

C. *Otitis Externa*

Merupakan infeksi yang cukup sering terjadi dan paling menimbulkan kesulitan pada penyelam. Terjadi umumnya pada keadaan panas dan lembam (daerah tropis, alat selam standar, ruang rekompresi) atau bila air tertahan di dalam kecil (eksostosis) sering didapatkan pada telinga penyelam atau perenang, dan tumbuhan ini mungkin cukup besar untuk dapat menahan air, kotoran telinga ataupun kotoran lainnya. Perlukaan setempat akibat menggaruk telinga atau mengorek telinga guna mengeluarkan kotoran telinga sering mengakibatkan infeksi. Sering juga disebabkan kelainan kulit yang ada seperti eksim, ketombe, dan sebagainya.

Selain jamur, pada infeksi sering didapatkan bakteri. Infeksi ini sering dirasakan seperti ada yang mendidih pada saluran telinga atau sebagai peradangan menyeluruh disertai penyempitan saluran telinga dan tercium bau yang khas. Sering terasa sakit bila rahang digerakkan atau bila daun telinga ditarik. Kadang-kadang ada keluhan ringan atau rasa penuh pada telinga, dan bila salah satu saluran tersumbat akan terasa pusing waktu menyelam.

Infeksi ini agak sukar diobati dan pengobatannya harus diawasi oleh dokter. Pada kasus ringan cukup dirawat dengan membersihkan telinga disusul dengan pemberian antibiotika tetes telinga seperti "*Soframycin*" tiga kali sehari. Pada kasus berat perlu obat anti nyeri seperti Panadol (dua tablet tiap empat jam sesuai kebutuhan) disertai

penutupan saluran telinga dengan salep yang berisi antibiotika mungkin perlu pada kasus berat. Jangan menyelam hingga infeksi sembuh sempurna.

Pencegahan dapat dilakukan dengan meneteskan *olive-oil* (minyak zaitun) ke dalam lubang telinga sebelum menyelam atau meneteskan larutan 5% asam asetat dalam 85% isopropil-alkohol setelah menyelam agar telinga jadi kering.

D. Otitis Media (infeksi telinga tengah)

Infeksi ini tak begitu sering pada penyelam dewasa, tapi kadang-kadang dapat terjadi akibat barotrauma telinga tengah. Juga bisa terjadi pada penyelaman yang tampaknya aman, terutama bila disertai infeksi saluran napas bagian atas. Kuman penyebab infeksi kebanyakan masuk telinga tengah melalui tuba *Eustachius* yang berjalan dari tenggorokan ke rongga telinga tengah. Kadang-kadang robekan gendang telinga menyebabkan air yang kotor masuk ke rongga telinga tengah.

Secara klinis terlihat sakit telinga, demam, telinga berdenging, dan sering didapatkan ketulian. Bila daun telinga ditarik tidak akan memperberat rasa sakit dan hal ini membedakannya dengan *otitis externa*. Pengobatan dilakukan oleh dokter.

E. Luka kena karang

Karang sering menyebabkan luka kecil atau lecet pada penyelam. Luka biasanya akan meradang bila terdapat butiran karang yang tertinggal di dalam luka dan menyebabkan rasa nyeri serta pedih beberapa jam kemudian. Bila tak diobati, daerah luka akan membengkak dalam 1-2 hari. Kadang-kadang akan terbentuk abses atau luka bernanah. Kebanyakan luka akan sembuh sendiri dalam 3-7 hari, tapi bila infeksi berlangsung lama bisa mengenai tulang (*osteomyelitis*) dan jaringan-jaringan lainnya. Pada masa puncak

dari infeksi penderita akan demam, menggigil, nyeri sendi, dan pembengkakan kelenjar di selangkangan dan ketiak.

Pencucian dan pembersihan luka dengan sikat yang lunak dan menggunakan antiseptik seperti Savlon dapat mencegah terjadinya infeksi. Balut luka dengan pemberian serbuk atau salep antibiotika seperti Neomycin atau Neosporin. Kasus infeksi berat harus diobati dengan kapsul antibiotika oleh dokter. Suntikan anti tetanus mungkin diperlukan. Bila perlu penderita harus istirahat di tempat tidur dengan kaki yang terinfeksi ditinggikan dan obat antinyeri.

Pakaian selam, sarung tangan, dan sepatu renang dapat mencegah sebagian besar perlukaan. Pengobatan segera terhadap luka-luka yang ringan akan mencegah komplikasi yang berat.

F. *Swimmer's Itch*

Swimmer's Itch atau *Dermatitis Schistosoma* tampak sebagai daerah yang berbintik-bintik merah dan terasa gatal, serta bisa berlangsung selama dari seminggu. Bisa juga disertai pembengkakan pada daerah tersebut. Bisa terjadi akibat berenang di daerah pantai, di rawa atau danau di mana terdapat banyak burung air. Parasit yang kecil dari burung tersebut masuk melalui kulit ke dalam jaringan dan mati, tetapi menyebabkan penyakit. Dengan masuknya parasit, penderita akan merasa gatal, yang akan terasa lebih berat bila sebelumnya telah pernah kemasukan dan menjadi alergi terhadap parasit tersebut. Pada kasus ringan, *Lotio Calamine* yang dapat menghilangkan gatal merupakan satu-satunya pengobatan. Pada kasus berat dokter akan memberikan antihistamin. Pencegahan dengan menggunakan pakaian selam dan menggaruk dengan kuat pada daerah yang gatal setelah keluar dari dalam air. Penggosokan tubuh dengan obat antiserangga dapat dilakukan sebelum masuk ke dalam air.

G. Granuloma kolam renang

Juga disebut “siku perenang” (*swimmer’s elbow*). Infeksi ini disebabkan masuknya kuman ke dalam kulit melalui luka lecet di kolam renang atau di badan kapal, dan sebagainya. Pembengkakan kemerahan yang dikelilingi kulit yang bersisik halus bisa terjadi dalam 3-4 minggu dan terdapat di atas tonjolan tulang. Bila luka ini disayat akan keluar nanah yang kental. Penyembuhan akan terjadi setelah dua tahun bila luka tak diobati. Diagnosis hanya dapat dipastikan dengan pemeriksaan mikroskopis dan pembiakan kuman penyebab.

H. *Erysipeloid*

Ini adalah infeksi kulit yang disebabkan luka lecet setelah memegang ikan, kerang, daging, atau unggas. Bakteri penyebab juga bisa menyebabkan keracunan udang atau kerang. Luka akan terjadi 2-1 hari kemudian dan tampak sebagai daerah merah keunguan yang menyebar di luar daerah luka. Bisa terasa gatal atau nyeri. Akan terjadi pembengkakan dan daerah sekitar sendi terasa gatal atau nyeri. Akan terjadi pembengkakan dan daerah sekitar sendi terasa kaku dan nyeri.

Infeksi di kaki akan menyebabkan pembengkakan. Kelenjar ketiak akan membengkak. Infeksi sekunder bisa menyebabkan terbentuknya abses. Pengobatan berupa pembersihan luka-luka kecil secepat mungkin. Biasanya dokter akan memberikan kapsul antibiotika dan salep atau serbuk antibiotika untuk lukanya. Pembersihan luka secepatnya akan mencegah terjadinya penyakit ini.

I. Meningitis Amubika atau Ensefalitis

Penyakit yang belum lama ditemukan tapi mematikan ini disebabkan oleh amuba kecil, *Naeglaria*, yang terdapat di dalam air, tanah yang lembap, air got, dan barang-barang busuk. Hanya akan terjadi bila berenang di air yang tercemar oleh amuba tersebut. Pernah dilaporkan terjadi di Australia dan negeri lainnya.

Sakit kepala yang berat dan tiba-tiba disertai demam ringan akan terjadi dan timbul dalam 3-7 hari setelah penyelam berenang di air tersebut. Biasanya akan berlanjut dengan muntah, kaku kuduk, delirium (meracau) dan tidak sadar setelah 3 hari kemudian akibat pengaruh kuman yang menyerang otak. Pada hari ke 5-6 bisa terjadi kematian.

Seperti pada penyakit-penyakit lainnya yang dianggap fatal, para dokter selalu berusaha menemukan obat yang paling ampuh untuk mengatasinya. Bila seseorang dicurigai menderita penyakit ini, ia harus dirawat di rumah sakit. Pengawasan pencemaran sungai oleh air got dan kotoran-kotoran lainnya harus ditingkatkan untuk mencegah bertambah banyaknya penderita. Semua perairan yang tercemar harus dihindari oleh perenang dan penyelam.

J. *Leptospirosis*

Walaupun jarang, pernah dilaporkan terjadinya epidemi pada perenang yang berenang di air yang tercemar oleh air seni tikus, babi, anjing, dan sapi. Satu sampai dua minggu setelah berenang di air tersebut terjadi demam, nyeri sendi, radang mata, dan sakit kepala. Juga bisa timbul mual, muntah, dan kaku kuduk. Penyakit ini bisa berlangsung selama tiga minggu. Pengobatan berupa pemberian antibiotika dosis tinggi (penisilin, atau tetrasiklin) dan perawatan di rumah sakit. Pencegahan dengan tidak berenang di air yang tercemar tersebut.

K. Infeksi lain

Tifus, paratifus, kolera, dan *schistosomiasis* pernah dilaporkan terjadi setelah berenang atau mandi di air yang tercemar. Gas gangrene bisa timbul pada luka akibat cedera berat. Hepatitis dapat terjadi setelah menelan kerang yang tercemar. Semua penderita penyakit tersebut harus dirawat di rumah sakit dan dapat dicegah dengan tidak berenang menyelam ataupun menelan air serta binatang/tumbuhan laut yang tercemar.

L. Penyakit penyelam SCUBA di Key West

Penyakit yang jarang terdapat ini pernah dilaporkan menyerang penyelam SCUBA US Navy yang sedang berlatih di Key West, Florida. Rasa tak enak badan, tak nafsu makan, demam, sakit kepala, dan dada terasa sesak dilaporkan terjadi dalam 36 jam setelah penggunaan regulator tertentu. Seorang penderita mati. Penyebab tak dapat dipastikan, tetapi diduga disebabkan beberapa jenis kuman yang terdapat pada penyekat tekanan rendah dan pada bagian dalam dari lekukan pipa saluran udara. Dekontaminasi regulator dan pipa udara dengan larutan antiseptik merupakan usaha untuk mencegah terjadinya penyakit.

M. Sindrom tertelan air asin (*Salt Water Aspiration Syndrome*)

Pembahasan lengkap tentang kelainan ini dibicarakan pada bab yang khusus. Oleh karena tampak sebagai infeksi pernapasan akut, diagnosis sering terabaikan. Dapat mengakibatkan penyakit yang lebih berat seperti pneumonia.

N. *Near Drowning* dan Infeksi Sekunder

Infeksi sekunder pada paru-paru sering terjadi pada seseorang yang baru sembuh dari *Near Drowning* (hampir tenggelam). Sering mengakibatkan bronkopneumonia dan pembentukan abses. Penderita *near drowning* harus dirawat dan diberi antibiotika untuk mencegah infeksi. Pemeriksaan dahak dan pembiakan kuman harus dilakukan secara teratur.

Semua penderita influenza atau infeksi pada telinga atau sinus tidak diperbolehkan menyelam sebelum benar-benar sembuh. Infeksi di atas akan menyebabkan kesulitan ekuilibrasi dan ini bisa menyebabkan barotrauma telinga atau sinus. Infeksi di dalam rongga dada dapat menyumbat aliran udara di dalam sebagian paru, dengan demikian bisa menyebabkan barotrauma paru waktu naik (*burs lung*).

Infeksi saluran napas juga bisa diperberat oleh penyelaman. Sebagian penyelam menganggap bahwa menyelam adalah cara baik untuk “membersihkan sinus” dari lendir dan sebagainya. Irigasi dengan air asin mungkin dapat menolong penderita sinus, tetapi kerusakan yang mungkin terjadi biasanya lebih besar. Yang paling baik adalah untuk tidak melakukan kegiatan penyelaman bila terdapat infeksi saluran napas bagian atas maupun bagian bawah.

Bab XXII

Ledakan di Bawah Air dan Kelain

A. Definisi

Data yang bersangkutan dengan topik ini banyak diambil dari pengalaman perang dunia I dan II, yaitu banyak terjadi kematian pada penyelam dan perenang akibat serangan udara, serangan di permukaan laut, maupun kapal selam. Suatu laporan menyatakan bahwa jumlah kematian akibat cedera yang disebabkan ledakan di bawah air mencapai 80%.

Pada masa kini ledakan di bawah air bisa menyerang penyelam karena banyaknya digunakan alat peledak dalam usaha penyelamatan kapal dan pengeboran di bawah air. Dalam bidang militer digunakan sebagai alat sabotase maupun kontra-sabotase – baik sewaktu latihan maupun pada keadaan sebenarnya.

Akibat ledakan terhadap tubuh manusia dijelaskan secara terperinci di dalam buku yang dikhususkan untuk dokter. Tubuh akan terserang oleh gelombang tekanan di bawah air secara langsung yang merambat dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan suara dan oleh gelombang tekanan balik dari ledakan. Faktor yang memengaruhi adalah jarak dengan sumber ledakan seperti dasar laut yang keras, lapisan panas, dan sebagainya. Gelombang tekanan akan diantarkan di dalam air jauh lebih cepat daripada di udara oleh karena sifat air yang tak dapat ditekan.

Kerusakan pada tubuh terutama mengenai bagian tubuh yang berisi udara, dalam hal ini paru-paru, usus kecil, rongga sinus, dan telinga. Gelombang tekanan biasanya langsung diantarkan melalui kulit dan jaringan di bawahnya dan akan menyebabkan terkoyaknya jaringan.

Daerah yang paling menderita adalah paru-paru dan usus kecil. Pada daerah ini bisa terjadi perdarahan hebat dan robekan jaringan, menyebabkan berbagai gejala tergantung dari kekuatan ledakan dan jaraknya sumber ledakan. Gejala-gejala tersebut bisa berupa:

- Nyeri abdomen atau nyeri dada
- Napas pendek secara tiba-tiba
- Batuk-batuk atau muntah darah
- Buang air besar berwarna hitam atau berdarah.
- Sakit kepala, tak sadar, dan mati.

Gejala lebih ringan seperti hilang pendengaran dan rasa sakit pada telinga akibat robeknya gendang telinga, dsb. Semua korban ledakan harus segera dirawat di rumah sakit untuk diobservasi atau bila perlu dioperasi. Sering kali tidak terlihat adanya gejala walaupun telah terjadi kerusakan usus kecil yang luas. Selama fase penyembuhan sering terjadi infeksi yang harus diatasi dengan baik. Bila terdapat gangguan pernapasan berikan 100% O₂, transfusi, dan sebagainya.

Jangan melakukan penyelaman di daerah dengan kemungkinan ada ledakan. Bila hal tersebut tak dapat dihindarkan, gunakanlah pakaian pelindung dan perisai tubuh. Keluarkan tubuh sebanyak mungkin dari dalam air, misalnya dengan cara berenang gaya punggung di permukaan air.

B. Kelainan Lain

1. *Caustic Cocktail*

Hanya terjadi pada penggunaan alat selam dengan kantung pernapasan. Sering disebut "*proto cocktail*" (untuk Protosorb) dan

“*soda cocktail*” (untuk Sodasorb). Pencemaran air pada penyerap CO₂ baik akibat pengembangan maupun akibat kebocoran sehingga air masuk ke dalam penyerap CO₂ maupun menyebabkan terbentuknya larutan alkali. Bila larutan ini memasuki pipa pernapasan, ia akan terisap atau tertelan dan mengakibatkan peradangan berat dengan kemungkinan perlukaan dari mulut, kerongkongan, dan paru. Luasnya luka tergantung dari jumlah, kadar, dan penyebarannya dalam tubuh.

Dulu dilakukan dengan mencuci mulut dengan cuka atau larutan asam lainnya untuk menetralkan larutan alkali. Cara pengobatan terbaik mungkin dengan mencuci mulut secara cepat dan berulang kali dengan air tawar atau air garam untuk mengeluarkan benda-benda yang mengakibatkan perangsangan. Setiap gejala pernapasan dan gejala dari usus kecil harus diobati oleh petugas medis.

2. Gangguan fungsi rahang

Penyelam pemula sering kali mengalami ketakutan di dalam air, terutama yang berhubungan dengan persendian sumber udara napasnya. Akibatnya, *mouthpiece* sering digigit dengan erat. Hal ini akan mengakibatkan keregangan sendi di antara rahang atas dan rahang bawah.

Kelainan ini bisa diikuti dengan *arthritis* yang disertai rasa sakit dan perlunakan di daerah sekitar telinga. Komplikasi lain berupa kekejangan otot rahang, tak bisa membuka mulut dengan lebar dan juga rasa pusing (*vertigo*) atau rasa berdenging di dalam telinga.

Kelainan ini dapat disembuhkan dengan mengajarkan penyelam agar santai saja di bawah air. Kelainan yang menetap atau berulang-ulang dapat diperberat oleh penyelaman. Penyebab lainnya seperti *mouthpiece* yang terlalu ketat, terlalu lama berada di air yang dingin, atau menggunakan peralatan yang harus

diangkat secara vertikal atau ke salah satu sisi mulut penyelam harus dihindarkan. Masker oronasal atau yang dapat menutupi seluruh muka dapat digunakan apabila kelainan menetap.

3. Cedera pada saraf bahu

Kelainan ini terutama didapatkan pada penggunaan alat selam standar karena beban dari helm langsung dipikul oleh bahu dan tulang-tulang leher. Di bawah daerah ini terdapat jaringan persarafan yang luas berjalan dari tulang belakang daerah leher ke otot dan sendi lengan. Kerusakan pada jaringan saraf tersebut bisa disebabkan oleh kesalahan meletakkan beban helm yang berat atau salah meletakkan bantalan di antara leher dan bahu. Lebih mudah terjadi di atas air karena faktor daya tarik bumi berperanan penting, dengan demikian penyelam pengganti sangat mudah terkena karena kelainan ini.

Pengaruh yang terjadi bisa menetap atau bersifat sementara. Perasaan tertusuk-tusuk dan perasaan tebal di daerah lengan dan jari-jari tangan sering didapatkan pada kasus yang ringan. Kasus yang berat dapat terjadi kelemahan otot ataupun kelumpuhan pada daerah yang mendapat gangguan saraf dari saraf yang terkena.

Jangan menggunakan alat selam yang mengakibatkan kelainan tersebut dan lakukan fisioterapi berupa latihan menggerakkan otot sampai semua gejala hilang. Penempatan bantalan secara tepat dapat menghindarkan terulangnya kelainan.

4. Sakit kepala

Hal yang amat sering terjadi tapi amat jarang dilaporkan. Untuk menentukan penyebabnya tergantung dari pemeriksaan yang teliti baik terhadap penyelam maupun alat selamnya, serta analisis dari riwayat penyelaman, kemurnian udara dan sebagainya. Penyebab yang sering ditemukan adalah:

- Ketegangan saraf-reaksi fisiologis yang sering didapatkan pada penyelam pemula karena stres menghadapi suasana di bawah air.
- Barotrauma sinus waktu turun. Sering mengenai sinus di atas mata sehingga menyebabkan sakit kepala berdenyut-denyut. Dapat berkurang dengan baik naik ke permukaan. Rasa nyeri yang disebabkan terkenanya sinus yang lain dapat terjadi pada gigi atau di belakang mata. Infeksi sinus akan menyebabkan rasa sakit dalam 4-24 jam setelah menyelam dan sering disertai adanya infeksi saluran napas bagian atas sebelumnya.
- Dingin. Menyelam di dalam air dingin dapat menyebabkan sakit kepala berdenyut-denyut pada orang yang peka. Kadang-kadang rasa sakit juga terdapat di belakang kepala. Gejala bisa cepat terjadi setelah masuk ke dalam air yang dingin atau bisa semakin hebat bila menyelamnya terlalu lama dan bisa menetap hingga beberapa menit setelah keluar dari dalam air. Penyebabnya tidak diketahui. Pencegahannya dengan menggunakan penutup kepala agar tetap hangat.
- Aspirasi air asin. Sakit kepala yang disebabkan menelan air asin ini bisa terjadi dalam waktu 30 menit atau lebih dan sering disertai dengan nyeri otot dan menggigil. Dapat diperberat oleh kerja dan terlalu lama berada di dalam air dingin.
- Masker yang terlalu ketat – paling sering terjadi pada penyelam pemula yang mengikatkan maskernya terlampau ketat. Pengaruhnya langsung diakibatkan oleh tekanan dari tali tersebut dan akan meningkat dengan makin lamanya penyelaman. Sakit kepala ini akan hilang dalam waktu 1-2 jam setelah masker dilepas atau diperbaiki ikatannya.

- Keracunan gas. Keracunan suatu gas akan menyebabkan sakit kepala yang khas. Karbon dioksida mengakibatkan sakit kepala yang biasanya terjadi bersamaan dengan meningkatnya tekanan parsial gas tersebut atau akibat penurunan tekanan parsial gas secara mendadak. Sifatnya berdenyut-denyut, berlangsung beberapa jam, dan tak dapat dihilangkan dengan obat antisyakit kepala. Sakit kepala bisa juga merupakan salah satu gejala dari keracunan oksigen, karbon monoksida, dan beberapa jenis gas lainnya.
- Penyakit dekompresi dan barotrauma paru. Sakit kepala menunaikan gejala yang didapatkan baik pada penyakit dekompresi yang menyerang otak dan juga pada emboli udara. Biasanya disebabkan oleh adanya gelembung gas dalam jaringan otak dan karena meningkatnya tekanan di dalam susunan saraf pusat. Biasanya terjadi dalam beberapa menit sewaktu naik ke permukaan dan hal ini menunjukkan bahwa gelembung tersebut terdapat di dalam aliran darah. Gejala lain gangguan otak atau gangguan kesadaran juga akan ditemukan. Sakit kepala ini akan menetap selama beberapa minggu, tetapi dapat dicegah ataupun diobati dengan mengisap 100% oksigen.
- Migraine. Orang yang sering menderita *migraine* dianjurkan untuk tidak melakukan kegiatan penyelaman atau menyelam dengan sangat berhati-hati karena lingkungan bawah air akan mempermudah dan memperberat serangan.
- Serangan *migraine* dapat diawali oleh sakit kepala yang disebabkan oleh hal-hal lainnya yang dibicarakan dalam fasal ini. Bila telah terjadi serangan *migraine*, penyelam berada dalam bahaya yang cukup besar karena kemungkinan terganggunya fungsi otak seperti gangguan

kesadaran, persepsi dan aktivitas otot, komplikasi psikologis dan mual serta muntah. Sejumlah penyelam mengalami serangan *migraine*-nya yang pertama di bawah air.

- Dalam riwayat keluarga sering didapatkan adanya salah seorang anggota keluarga yang menderita *migraine* dan ini sangat membantu diagnosis. Pencegahan terbaik adalah dengan melarang menyelam atau jangan menyelam pada keadaan tertentu seperti air dingin, keracunan oksigen ataupun karbon dioksida. Pemanfaatan teknik penyelamatan seperti hubungan dengan rekan penyelam lain lewat tali ("*buddy line*"), pemakaian jaket pelampung dan sebagainya sangat dianjurkan.
- Lain-lain. Masih banyak penyebab lain yang dapat mengakibatkan sakit kepala pada penyelam seperti minum alkohol berlebihan, cedera pada kepala pada sewaktu naik, atau silau karena sinar matahari.

5. *Carotid Sinus Syndrome*

Baju selam yang terlalu sempit dapat menekan arteri karotis (sinus karotis) di daerah leher – terutama baju selam model "*pullover*". Kebanyakan penyelam akan merasakan tidak enak di bagian lehernya dan akan menggantung leher baju selam tersebut sebelum gejala tersebut terjadi. Gejalanya bisa berupa denyut nadi berkurang, tekanan darah rendah atau pingsan karena tertekannya arteri tersebut. Kadang-kadang terjadi disorientasi dan kekacauan mental. Kelainan ini dapat dicegah dengan tidak memakai baju selam yang berleher terlalu sempit.

6. Cedera kena propeler (baling-baling)

Digunakannya kapal yang menggunakan motor untuk pengawas penyelam dan adanya penyelam tenggelam karena propeler. Bahaya ini akan diperberat dengan buruknya penglihatan

dan kurang dapatnya melokalisasi suara di bawah air. Walaupun suara mesin dapat dengan mudah terdengar, gelombang suara berjalan sangat cepat di dalam air sehingga menyulitkan untuk menentukan letak sumber suara dengan tepat. Biasanya penyelam akan terlambat menyelamatkan dirinya di saat ia sudah dapat melihat gerakan kapal.

Pengobatan terhadap luka robek akibat terkena propeler ini sama saja dengan pengobatan akibat serangan hiu, yaitu menghentikan perdarahan dengan memasang pembalut, turniket, dan sebagainya. Kadang-kadang perlu pembedahan bila terdapat kerusakan saraf, tendo, atau perdarahan hebat. Pencegahan berupa mengamankan propeler dengan memasang pelindung di sekitarnya, tanda-tanda atau bendera yang jelas dan dengan mudah dapat dilihat, dan tidak melakukan penyelaman di daerah dengan banyak kapal berkeliaran.

Bab XXIII

Pencemaran Gas Pernapasan

Penyakit atau kematian penyelam SCUBA yang bernapas dengan gas yang salah atau gas yang tercemar sangat jarang terjadi. Namun demikian mungkin ada kasus yang tak dilaporkan. Pencemar gas pernapasan yang sering adalah:

1. Karbon monoksida (CO)
2. Karbon dioksida (CO₂).
3. Nitrogen dioksida (NO₂)
4. Nitrogen oksida (N₂O)
5. Minyak dan uap air
6. Benda padat (debu, bubuk, karat, dan sebagainya).

Sumber pencemaran biasanya terdapat dalam udara (atmosfer) yang tidak bersih yang masuk ke dalam kompresor. Bisa dapat dari polusi industri atau dari sumber gas beracun yang terletak berdekatan dengan kompresor, misalnya knalpot.

Seorang penyelam senior merencanakan penyelaman di daerah pantai. Ia akan menyelam sewaktu air surut dan melabuhkan kapalnya beberapa saat sebelum air surut. Kompresor udaranya telah diletakkan dengan benar dengan pipa pemasukan berlawanan arah angin dengan pipa pembuangan (knalpot). Setelah berada selama 1 jam di kedalaman 10 meter, ia merasa pusing dan kesadarannya hilang. Untungnya ia segera bisa diangkat ke permukaan dan jiwanya selamat.

Penjelasan-Ketika arus berubah, arah kapal juga berubah sehingga pipa pemasukan kompresor searah dengan arah angin dengan pipa pembuangan. Akibatnya CO masuk ke dalam kompresor dan diisap oleh penyelam.

Pencemaran bisa disebabkan oleh penggunaan pelumas kompresor yang salah, sistem jaringan (filter) yang salah atau tidak sempurna, elemen filter sudah rusak, atau cara penyimpanan dan pemeliharaan silinder yang tak memenuhi syarat sehingga bagian dalam silinder berkarat.

Pengaruh pencemaran gas pernapasan tergantung dari jenis dan kadar gas penyebab, kecepatan napas, kedalaman penyelaman lamanya gas tersebut diisap. Gejala klinis mulai dari pengaruh fisiologis langsung terhadap tubuh (misalnya CO menyebabkan hipoksia, NO₂ menyebabkan kerusakan paru, dan sebagainya). Karat akan merupakan pengganjal di dalam bagian motor yang bergerak sehingga alat tersebut cepat rusak.

Bila dicurigai adanya pencemaran gas pernapasan, contoh gas harus dikirim ke laboratorium untuk dianalisis. Bila terjadi penyakit atau kematian yang diduga diakibatkan oleh pencemaran gas, contoh gas tersebut harus diamankan oleh polisi untuk pemeriksaan laboratorium dan forensik, secepat mungkin setelah insiden terjadi.

Gas detektor yang portabel dan relatif murah seperti Draeger Multigas Detector dapat dipakai oleh penyalur kompresor untuk memeriksa kemurnian gas dalam periode-periode tertentu. Bila contoh gas dari kantong pengumpul dan instruksi pembuat dipatuhi dengan baik, analisis bisa dilakukan secara cermat dan dengan demikian penggunaannya terjamin.

Udara yang digunakan untuk penyelaman atau untuk ruangan rekompresi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Mengandung tidak kurang dari 95% dan tidak lebih dari 22% oksigen.

- Mengandung tidak lebih dari 11 mg/m' karbon monoksida
- Mengandung tidak lebih dari 900 mg/m' karbon dioksida.
- Bila contoh udara diambil dari silinder yang diisi dengan tekanan 12
- Mengandung tidak lebih dari 20 mg/m' air.
- Mengandung tidak lebih dari 1 mg/m' minyak
- Benda padat seperti debu dan sebagainya harus tidak bisa lewat dari filter Whatman 40 setelah dialiri 5 liter udara.
- Tidak berbusa dan tidak berbau.
- Bebas NO₂ dan N₂O.

Bab XXIV

Kehilangan Kesadaran

Penyebab kehilangan kesadaran pada penyelam cukup banyak jenisnya tetapi akibatnya sering serupa, yaitu tenggelam. Sayangnya justru tenggelam ini sering mengaburkan penyebab dari ketidaksadaran atau “kegelapan” yang sebenarnya. Pada setiap kasus harus dilakukan usaha untuk mengetahui apa yang yang terjadi sebelum penyelam hilang kesadarannya.

Keadaan lingkungan, peralatan selam, teknik penyelaman, dan kesehatan penyelam bisa menyebabkan seorang penyelam tidak sadar. Klasifikasi sederhana dapat dibuat dengan menghubungkan penyebab dengan alat selam yang digunakan. Beberapa penyebab terdapat pada penggunaan semua jenis alat selam, sedangkan sebagian lainnya khusus pada penggunaan alat tertentu. Diagnosis yang lebih terperinci dan penanganan tiap kelainan telah dibahas pada berbagai bab dalam buku ini. Beberapa penyebab yang sering terjadi antara lain:

A. Hipoksia akibat tahan napas terlalu lama karena hiperventilasi

Hipoksia dapat terjadi pada penyelaman tahan napas yang lama karena penyelam dengan sengaja menahan keinginannya untuk bernapas. Meningkatnya tekanan parsial O_2 di dalam paru dapat mempertahankan kesadaran. Sewaktu naik ke permukaan, tekanan air di sekitarnya berkurang, tekanan udara di dalam paru berkurang dan tekanan parsial O_2 juga akan menurun. Penurunan tekanan

parsial O_2 dapat sangat kurang dari kadar minimal yang diperlukan untuk mempertahankan kesadaran. Hal inilah yang menyebabkan penyelam kehilangan kesadaran sewaktu naik atau setelah mencapai permukaan akibat keterlambatan jantung memompakan darah yang cukup mengandung O_2 dari paru-paru ke otak. Bahaya ini akan diperberat bila penyelam melakukan pekerjaan berat di bawah air.

Hiperventilasi adalah teknik bernapas yang cepat dan dalam, dilakukan selama beberapa menit sebelum mulai menyelam. Dapat memperlama penyelaman – sering penyelam bisa tidak muncul sehari-hari. Dengan hiperventilasi sangat banyak CO_2 yang dikeluarkan dari dalam tubuh sehingga keinginan bernapas yang dirangsang oleh penumpukan CO_2 di dalam tubuh dapat lebih lama dipertahankan. Dengan demikian tubuh dapat mengambil lebih banyak O_2 dari keinginan bernapas tak dapat ditahan lagi. Akibatnya tekanan parsial lakukan pekerjaan berat di bawah air. O_2 dalam paru akan cepat berkurang bahkan bisa hingga di bawah batas kritis dan ini menyebabkan hilangnya kesadaran secara tiba-tiba terutama sewaktu naik. Untuk kejadian tersebut biasanya tidak ada gejala-gejala pendahulu. Bila penderita dapat tertolong, sering terjadi kehilangan ingatan terhadap saat-saat terakhir dari penyelamannya. Bila tidak ditolong, korban akan menelan air dan tenggelam. Ini mungkin merupakan penyebab tenggelam yang tersering pada penyelaman tahan napas di air dangkal atau di kolam renang. Pada pertandingan memanah ikan ada hadiah khusus bagi penyelam yang dapat paling lama mengejar ikan berhadiah. Penyelaman hiperventilasi untuk tujuan tersebut sering merenggut nyawa penyelam berpengalaman.

B. Tenggelam

Merupakan akibat terakhir dari hampir semua kasus ketidaksadaran di bawah air. Jebakan di bawah air (gua, rumput laut, bangkai kapal, dan sebagainya), kerusakan alat selam, penilaian yang keliru dan kesalahan teknis dapat menyebabkan tenggelam tanpa didahului kehilangan kesadaran.

Tertelannya air laut dapat disebabkan oleh rusaknya alat selam (kebocoran katup, kerusakan sekat, dsb), tetapi yang lebih mudah terjadi adalah akibat kesalahan teknis sewaktu bernapas bergantian dari satu alat (*buddy breathing*) atau sewaktu timbul bebas (*free ascent*). Terlepasnya katup pengisap dari mulut dan habisnya udara napas sering terjadi pada penyelam pemula, tetapi mungkin pula terjadi pada penyelam senior. Latihan keselamatan penyelam yang tak sempurna – terutama kekeliruan melepaskan beban pada keadaan darurat, kegagalan mengembungkan jaket penyelamat, ataupun panik, merupakan faktor-faktor yang sering menyebabkan tertelannya air laut dan akhirnya tenggelam.

C. Kedinginan

Hilangnya kesadaran secara tiba-tiba bahkan kematian mendadak pernah terjadi setelah seorang penyelam terjun ke air yang dingin. Kejadian ini sangat jarang terjadi. Menyelam terlalu lama di air dingin dapat menyebabkan hilangnya kesadaran bila suhu tubuh kurang dari 27° C. Penurunan suhu lebih lanjut mengakibatkan terhentinya jantung dan pernapasan serta kematian. Pada suhu 33-35° C tubuh akan menggigil dengan hebat dan koordinasi akan hilang, kemungkinan tenggelam akan meningkat bila terdapat problema kecil yang sukar diatasi. Penyelam yang kedinginan lebih mudah menderita penyakit dekompresi setelah penyelaman dalam dan ini akan menyebabkan hilangnya kesadaran.

D. Barotrauma paru waktu turun (*Squeeze paru*)

Kemungkinan terjadinya pada penyelam tahan napas hanya bila ia menyelam sangat dalam (lebih dari 40 meter) ketika volume paru tertekan hingga kurang dari volume yang tersisa di paru-paru setelah ekspirasi (mengeluarkan napas) yang normal, yaitu kurang dari volume tersisa. Akan terjadi perdarahan di dalam paru yang akan menghalangi pernapasan dan dengan segera menyebabkan hilangnya kesadaran disusul dengan kematian.

Pada penyelam yang mendapat suplai gas dari permukaan mempunyai risiko bila kecepatan aliran gas tidak mencukupi untuk kebutuhan waktu turun, kerusakan pipa udara (misalnya terpuntir) atau bila tidak terdapat katup yang searah (*non-return valve*) pada pipa udara.

Penyelam SCUBA jarang menderita kelainan ini kecuali bila penyelam tersebut terlalu gemuk dan menggunakan regulator yang rusak yang tak dapat menyamakan tekanan gas pernapasan dengan tekanan di sekitarnya. Terlepasnya *mouthpiece* sebelum masuk ke dalam air, terutama pada penyelam yang kegemukan, juga bisa menyebabkan masalah ini.

E. Luka (cedera) karena binatang laut

Hilangnya kesadaran bisa terjadi akibat gigitan hiu, ular laut, *octopus*, atau kerang beracun. Sengatan ubur-ubur (*seawasp*), *stone fish*, atau *stingray* juga bisa menyebabkan penyelam tidak sadar.

Luka (cedera) demikian umumnya dikarenakan penyelam itu yang mengabaikan bahaya binatang-binatang tersebut. Sebelum melakukan penyelaman di suatu daerah, sebaiknya penyelam terlebih dahulu harus mengenal kehidupan bawah laut yang terdapat di daerah tersebut.

Riwayat kasus.

Sekelompok penyelam yang melakukan penyelaman pertama kali di daerah tropis yang berkarang dengan gembira masuk ke dalam air. Kemudian mereka kembali ke permukaan dengan membawa ikan kerang dan karang, yang terdapat beberapa jenis kerang beracun, yang sebagian dibawa di dalam pakaian selamnya. Seorang anak buah kapal mengenali kerang beracun tersebut dan menyelamatkan mereka dari bahaya yang hampir terjadi.

Diagnosis dari penyebab ketidaksadaran tergantung dari pengetahuan tentang efek samping yang sering terjadi, digabungkan

dengan pengetahuan tentang distribusi geografis binatang laut. Jenis luka dan gejala yang didapatkan, atau mengenal dengan pasti binatang penyebab, akan memastikan diagnosis.

F. Muntah dan tertelannya muntahan atau air laut

Mual dan muntah di bawah air bisa disebabkan mabuk laut, kehamilan, rasa melayang (*hangover*), menelan air laut, penyakit telinga bagian tengah/dalam, atau rangsangan yang tak merata pada organ yang tak berhubungan antara lain terlalu banyak makan ataupun minum keseimbangan, misalnya gendang telinga yang robek. Penyebab lain alkohol sebelum menyelam atau infeksi saluran pencernaan.

Muntah di bawah air akan merupakan bahaya bagi semua penyelam, kecuali yang menggunakan suplai gas dari permukaan, karena *mouth-piece* bisa tersumbat oleh muntahan bila tidak segera dilepaskan, terutama pada penyelam pemula. Bila muntahan masuk ke dalam pengisap CO₂ (*CO₂ absorber*), muntahan akan menghambat atau mengurangi kemampuan penyerapan sehingga terjadi pembentukan CO₂. Bila *mouth-piece* dilepaskan, penyelam mungkin akan meminum air laut. Pada kasus yang amat jarang, muntahan dapat menyumbat jalan napas secara total dan mengakibatkan hipoksia serta hilangnya kesadaran.

G. Penyakit Dekompresi

Merupakan kelainan yang sangat jarang terjadi pada penyelaman tahan napas tapi pernah didapatkan pada penyelam mutiara alam ("Taravana") dan pada instruktur latihan timbul bebas. Pada kasus tersebut penyelaman dalam berulang-ulang dengan interval permukaan yang pendek merupakan penyebabnya.

Pada penyelam yang menggunakan udara tekan, penyakit dekomposisi bisa menyerang otak, paru-paru atau jantung hingga

bisa menyebabkan hilangnya kesadaran pada atau sewaktu mendekati permukaan. Lebih mudah terjadi pada penyelaman dalam, penyelaman berulang-ulang yang lebih dari 10 meter karena periode dekompresi kurang dipatuhi, penyelaman menggunakan pengukur dekompresi, atau akibat naik ke permukaan terlalu cepat. Di saat kejadian sukar untuk membedakan dengan emboli udara pada otak. Akan tetapi karena pengobatannya hampir sama, rekompresi segera dapat berhasil dengan baik.

H. Keadaan kesehatan lainnya

Penyelam, seperti juga orang lain, dapat saja menderita penyakit yang bisa menyebabkan tak mampu bekerja, tapi bila hal ini terjadi di bawah air, bahayanya akan sangat besar. Setiap penyakit yang bisa menyebabkan ketidaksadaran mendadak atau menyebabkan tidak mampu bekerja seperti diabetes, epilepsi, penyakit jantung, dan sebagainya, merupakan risiko bagi keselamatan jiwa penyelam. Adanya riwayat penyakit tersebut menyebabkan seseorang tidak diperkenankan menyelam. Bila penyebab ketidaksadaran pada seorang penyelam tak dapat ditemukan, harus dilakukan pemeriksaan kesehatan secara menyeluruh untuk dapat mencari penyebabnya.

I. Barotrauma paru waktu naik (*Burst lung*)

Penyelam yang bernapas dengan udara tekan yang tiba-tiba kehilangan kesadaran sewaktu mencapai permukaan harus diduga menderita emboli udara yang menyerang otak. Walaupun pengeluaran napas sewaktu naik tampaknya normal, ini tidaklah menyingkirkan kemungkinan terjadinya penyakit ini karena mungkin terdapat udara yang terperangkap di dalam paru. Adanya batuk atau dahak yang berdarah sangat menyokong diagnosis.

J. Sinkop waktu naik (*Syncope of Ascent*)

Sewaktu naik ke permukaan kadang-kadang penyelam sesaat kehilangan kesadarannya karena tidak terlihat adanya gejala barotrauma paru. Pada semua kasus penyembuhannya terjadi dengan cepat. Ini diduga disebabkan oleh adanya sedikit regangan jaringan paru sewaktu naik yang mengganggu kembalinya darah ke jantung, sehingga tekanan darah menurun dan hilang kesadaran sebentar. Bahaya adalah bila sewaktu periode yang sebentar itu tertelan oleh penderita.

K. Nitrogen Narkosis

Kehilangan kesadaran hanya akan terjadi bila penyelam bernapas dengan udara tekan pada kedalaman melebihi 100 meter. Bila tidak terkomplikasi menelan air, kesadaran segera kembali sewaktu naik, dan tak ada pengaruh terhadap penderita di permukaan bukanlah penderita nitrogen narkosis.

L. Keracunan Karbon monoksida

Merupakan kasus ketidaksadaran yang jarang terjadi. Secara teoretis bisa disebabkan pencemaran udara lewat knalpot kompresor, dan sebagainya. Jarangnya terjadi kasus ini mungkin akibat kewaspadaan penyelam itu sendiri. Dingnosis dipastikan dengan memeriksa contoh gas dari silinder atau kompresor, dan pemeriksaan darah penderita.

M. Keracunan oksigen

Tiap penyelam bernapas dengan campuran gas berkadar oksigen tetap akan menghadapi bahaya keracunan akut pada otak bila tekanan parsial oksigen melebihi 1.8 ATA. Alat selam dengan gas pernapasan oksigen murni akan berbahaya bila digunakan di kedalaman yang melebihi 8-10 meter. Bisa terjadi kejang-kejang dan kehilangan

kesadaran segera. Akan tetapi bila korban tidak menelan air dan tekanan parsial oksigen cepat dikurangi, penyembuhan biasanya cepat terjadi. Komplikasi berlainan ini bisa berupa muntah-muntah.

N. Hipoksia akibat kerusakan alat atau kesalahan teknis

Bisa disebabkan oleh penggunaan gas pernafasan yang salah, Suplai gas pernafasan tidak mencukupi, atau pengenceran oksigen di dalam alat selam oleh gas lembam. Pemakaian oksigen yang berlebihan bisa melampaui suplai gas dan menyebabkan hipoksia. Gejala-gejalanya telah dibahas sebelumnya. Bila korban cepat tertolong dan tidak menelan air ataupun terjadi komplikasi lainnya, biasanya penyelam dengan cepat kembali normal.

Bab XXV

Penyelidikan Kecelakaan Penyelam

Hal-hal yang penting diketahui pada setiap kecelakaan penyelaman adalah:

1. Riwayat penyakit penderita
2. Keadaan lingkungan tempat kecelakaan
3. Riwayat penyelaman
4. Alat selam yang digunakan
5. Bedah mayat

A. Riwayat penyakit

Adanya penyakit yang mengakibatkan cederanya seorang penyelam harus dipastikan dengan menanyakan pada teman-teman atau keluarganya. Pada bab tentang “Syarat Kesehatan Penyelam” tertera penyakit-penyakit termaksud. Harus diteliti apakah pemeriksaan kesehatan prapenyelaman sudah dilengkapi. Bila perlu, tanyakan pada dokter pemeriksa.

Faktor-faktor lain-lain yang perlu diketahui:

- Pengalaman penyelam
- Riwayat kecelakaan penyelaman terdahulu

Kecelakaan penyelaman paling sering terjadi pada penyelam yang belum berpengalaman terutama pada penyelaman pertama di laut bebas. Banyak kejadian yang mungkin terjadi di masa latihan akan terulang kembali, yang berupa:

- Hiperventilasi sebelum penyelaman tahan napas
- Panik
- Tertelan air asin
- Barotrauma (terutama telinga dan paru)
- Nitrogen narcosis
- Penyakit dekompresi

B. Keadaan lingkungan

Cuaca dan kondisi tempat kejadian (gelombang, arus, dan sebagainya) harus diperhatikan. Lebih dari 25% kecelakaan terjadi karena pengaruh suasana alam. Penyelam tidak hanya akan dihadapkan pada bahaya sewaktu masuk ataupun keluar dari dalam air, tetapi yang sewaktu menyelam karena mungkin terdapat suasana yang memberatkan seperti berkurangnya penglihatan, mabuk laut, arus keras, dan sebagainya. Penyelam yang menghadapi arus dengan kecepatan satu knot akan harus mengeluarkan oksigen 2 liter/menit, dengan demikian persediaan udaranya bisa habis dengan cepat. Hampir tidak mungkin seorang penyelam dapat melawan dengan cepat. Hampir tidak mungkin seorang penyelam dapat melawan arus 2 knot atau lebih tanpa bantuan. Tidak hanya kecepatan arus yang penting, tetapi juga arahnya. Bila pada mulanya penyelam berenang searah dengan arus, ia dengan cepat bisa sampai ke tujuannya tetapi waktu kembali akan mengalami kesukaran. Arus di permukaan tidak selalu sama dengan di kedalaman. Penyelam haruslah mengetahui kondisi arus setempat. Suhu air bisa memengaruhi kepekaan seorang penyelam terhadap hipotermi, sama halnya dengan fungsi dari berbagai macam bagian alat selam. Regulator bisa mengerut bila suhu terlalu dingin, demikian juga penyerap CO₂ adalah ledakan bawah binatang laut berbahaya yang terdapat di daerah tersebut, adanya lumut laut yang bisa menjerat penyelam, atau adanya gua dan celah-celah mungkin menjebak si penyelam.

C. Riwayat dan Bentuk Penyelaman

Untuk mengevaluasi seorang penyelam yang diduga menderita penyakit dekompresi, riwayat dari penyelaman yang dilakukannya sangatlah penting juga penting pada kasus-kasus barotama paru, menelan air laut (*salt water aspiration*), hipotermia, dan sebagainya. Pada penyelaman sangat berhubungan dengan kemungkinan terjadinya hipoksia, juga hiperventilasi sebelum penyelaman. Bila menggunakan alat selam, kedalaman dan lamanya penyelaman serta jenis dan waktu terjadinya gejala memungkinkan untuk kepastian diagnosis penyakit dekompresi, apalagi bila waktu dekompresi diketahui. Bila penyelaman melampaui “pembatasan waktu” (*limiting line*) dan Tabel Royal Navy atau melampaui Tabel penyelaman yang diperpanjang (*Extended exposure Table*) dari US Navy, bila prosedur dekompresi diabaikan, atau bila menggunakan pengukur dekompresi (*decompression meters*) untuk penyelaman dalam atau berulang, maka penyakit dekompresi amat mungkin terjadi. Kedalaman penyelaman sangat penting diperhatikan pada kasus nitrogen *narcosis* dan pengaruhnya terhadap tingkah laku penyelam dan juga pada penyakit-penyakit lain seperti keracunan karbon dioksida atau keracunan oksigen. Kecepatan naik ke permukaan berhubungan erat – terutama bila terlampau cepat – dengan barotrauma paru, penyakit dekompresi dan sinkop waktu naik. Kecepatan naik yang dianjurkan adalah 20 meter per menit ke kedalaman stasiun dekompresi pertama dan selanjutnya 1 meter tiap 3 detik di antara setiap stasiun berikutnya. Sebagian penyelam sipil melakukan naik 66 meter/ menit secara rutin.

Banyaknya pekerjaan yang dilakukan selama penyelaman harus diperhatikan dalam menilai kelainan yang berhubungan dengan alat selam yang digunakan. Pekerjaan berat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan oksigen, dan menyebabkan meningkatnya kebutuhan oksigen, dan menyebabkan meningkatnya pengaliran gas. Dengan meningkatnya pemakaian, pembentukan CO₂ juga akan meningkat.

Dengan demikian beban dan penyerap CO₂ juga bertambah, dan ini meningkatkan kemungkinan terjadinya keracunan karbon dioksida dan hipoksia.

Bila bernapas dengan tekanan parsial oksigen yang tinggi, pekerjaan di bawah air akan memperbesar kemungkinan keracunan oksigen. Pada penyelaman dengan SCUBA, kerja berat mengakibatkan pemakaian gas meningkat yang mungkin tidak disadari oleh penyelam, apalagi bila tidak terdapat alat pengukur isi silinder gas pernapasan. Meningkatnya tahanan pernapasan yang disertai dengan napas yang pendek akan cepat menimbulkan kelelahan. Sebagai akibatnya penyelam sering panik.

Akibat dari terjadinya kelainan ataupun yang berhubungan dengan usaha pertolongan di bawah air, sering terjadi panik dan naik ke permukaan dengan cepat. Melakukan pernapasan berganda (berpasangan) di bawah air sering berbahaya dan menyebabkan salah seorang penyelam dengan cepat naik ke permukaan karena merasa kekurangan udara. Hal yang mungkin sering dilupakan pada keterangan tentang kecelakaan dan juga yang ditemukan pada pemeriksaan bedah mayat adalah cara pertolongan pertama dan cara resusitasi yang dilakukan terhadap korban. Keluhan dan gejala yang didapat pada tiap jenis kecelakaan telah diuraikan dalam bab-bab sebelumnya.

D. Alat Selam

Pada tiap kecelakaan penyelaman janganlah mengubah ataupun mengganggu alat selam yang dipergunakan hingga telah dituliskan laporan terperinci dan diambil fotonya. Penyebab kecelakaan ataupun hal-hal yang memperberat kecelakaan sering dapat dipastikan dari pemeriksaan terhadap alat selam tersebut. Penyebab kecelakaan bisa bervariasi dari tidak dipakainya baju pelindung untuk penyelaman di air dingin hingga pada hal-hal yang rumit seperti analisis dari oksigen,

karbon dioksida, karbon monoksida, gas lembam, hidrokarbon, dan sebagainya yang masih tersisa di dalam silinder gas.

Hal lain juga harus diperiksa pada alat selam tersebut adalah kerja dari katup (*demand valve*), kecepatan aliran gas melalui alat pengutang aliran (*reducer*), daya kerja penyerap CO₂ dan sebagainya. Beberapa peralatan dapat terpengaruh oleh kecelakaan yang terjadi dan ini bisa diketahui bila bagian yang bergerak tidak ada lagi di tempatnya atau telah bergeser dari tempatnya semula. Ruang berisi gas seperti penutup muka (*face mask*), jaket pelampung dan sebagainya, bisa dibanjiri oleh air. Penahan pada *mouthpiece* bisa tergigit waktu korban kejang dan juga bisa terdapat muntahan pada kantong udara atau pada *mouthpiece*. Kesemuanya ini dapat menggambarkan baik penyebab kecelakaan ataupun suatu saat kejadian yang terjadi pada dan memperberat situasi kecelakaan.

Pemeriksaan alat selam dapat memberi gambaran baik dari penyelam maupun prosedur penyelamatan yang dilakukan. Sangat penting diperhatikan apakah tali pengikat pinggang dilepaskan oleh korban atau terlepas sendiri. Alat pengukur isi silinder, alat penghitung dekompresi, dan sebagainya, sering dipakai oleh penyelam berpengalaman untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Pisau sangat penting untuk mengatasi keadaan bila terlibat pada tali, tumbuhan laut, dan sebagainya, sering dipakai oleh penyelam berpengalaman untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Jaket pelampung yang mudah dioperasikan sangat berguna pada usaha penyelamatan. Juga tali penghubung pada rekan penyelam ataupun penghubung ke permukaan amat membantu dalam mempercepat penyelamatan korban.

Pada 70% kasus kecelakaan penyelaman terdapat selisih waktu melebihi 15 menit sejak kecelakaan terjadi hingga usaha pertolongan dapat dilakukan. Waktu ini terlalu lama bagi korban untuk dapat berada di dalam air tanpa bantuan alat pernapasan. Dengan demikian

banyak kasus yang sebenarnya hanya berupa ketidaksadaran ringan menjadi fatal karena korban tenggelam. Hal ini dapat dicegah dengan melakukan tiga macam dasar pertolongan pertama pada kecelakaan penyelaman yaitu:

1. Pertolongan segera dari rekan penyelam yang harus selalu waspada akan keadaan penyelam lainnya. Perlu diterapkan suatu cara komunikasi yang khusus bila seseorang memerlukan bantuan.
2. Bantuan untuk kembali ke permukaan atau ke lingkungan yang lebih menyenangkan.
3. Memahami dengan baik tindakan pertolongan pertama untuk mempertahankan nyawa korban hingga pertolongan dari seorang ahli dapat dilakukan.

Dalam praktiknya ada tiga cara yang amat bermanfaat agar ketiga kriteria tersebut di atas dapat dilaksanakan, yaitu:

1. Tali penghubung dengan rekan penyelam lainnya (*buddy line system*). Panjang tali jangan melebihi 4 meter dan harus berhubungan dengan tubuh penyelam melalui alat yang dengan cepat dapat terlepas. Tali ini harus ringan dan diameternya tidak melebihi 1 cm. Tali nilon cukup bermanfaat untuk tujuan tersebut
2. Jaket pelampung jenis udara tekan-sebaiknya yang dapat menggelembung melalui silinder gas tersendiri dan tidak melalui silinder gas pernapasan penyelam
3. Pernapasan mulut ke mulut dan pengurutan jantung

E. Bedah mayat (Autopsi)

Sering kali perlu pembedahan mayat sebelum melakukan dekompresi pada mayat penyelam, maksudnya untuk mencegah kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh penyakit dekompresi setelah korban meninggal. Bedah mayat ini hanya dapat dilakukan di dalam ruangan rekompresi oleh ahli patologi. Biasanya dilakukan

pada kematian akibat penyelaman saturasi dan sangat jarang dilakukan pada kasus kematian pada penyelam SCUBA. Pada tekanan yang amat tinggi di dalam ruangan rekompresi, ahli patologi itu sendiri menghadapi bahaya akibat tekanan tinggi seperti penyakit dekompresi, nitrogen *narcosis*, dan sebagainya, dan kemampuannya melakukan bedah mayat dengan sempurna mungkin mengalami gangguan.

Hasil autopsi harus selalu diperhitungkan dengan jangka waktu yang terdapat di antara kecelakaan, kematian, dan saat dilakukannya autopsi. Tidak terdapatnya kelainan patologis ataupun perubahan patologis yang berlebihan dapat disebabkan karena amat pendeknya waktu ataupun terlalu lamanya periode waktu tersebut dan hal ini haruslah diperhatikan. Pemeriksaan bakteriologis juga bisa amat terpengaruh oleh faktor waktu ini.

Tidak hanya ahli patologi yang mengetahui gejala yang khas dan teknik untuk menyelidiki kematian penyelaman. Jadi amat penting untuk mendapat nasihat dari ahlinya. Petunjuk yang lengkap dapat dibaca dalam buku "*Diving and Subaquatic Medicine*". Sebaiknya seorang ahli patologi membaca petunjuk yang terdapat dalam buku tersebut sebelum memulai autopsi.

Saling pengertian semua pihak yang berkepentingan seperti pengawas penyelaman, dokter, dan ahli patologi amatlah penting. Semua data harus dikumpulkan, dihubungkan, dan dianalisis oleh para ahli tersebut. Bila ini dilakukan bukan oleh ahlinya, mungkin terdapat kekeliruan dalam diagnosis dari penyakit dekompresi ataupun tenggelam dan juga tanpa keterangan tentang hal-hal yang menyebabkan kematian. Bila kesemuanya dikerjakan oleh ahlinya, akan dapat digali semua hal yang bermanfaat sehingga penyebab kematian dapat diketahui.

Bab XXVI

Persyaratan Kesehatan Penyelam

Oleh karena keadaan lingkungan dan kondisi fisik yang diperlukan di bawah air, persyaratan kesehatan bagi seorang penyelam agak berbeda dengan persyaratan untuk olahragawan lainnya. Seorang pemain sepak bola yang memiliki tingkat kesehatan “A” tapi kadang-kadang mengalami serangan asma akan sangat marah karena ia dinyatakan tidak cakap untuk menyelam. Serangan asma hanya akan menyebabkan “melayang ke angkasa untuk terakhir kalinya”.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan oleh seorang dokter yang melakukan pemeriksaan kesehatan seorang penyelam adalah:

A. Psikologis

Kepribadian yang diharapkan dari seorang penyelam adalah mantap, dingin, mampu, mengatasi tekanan mental dan fisik, tidak mudah gelisah, mampu menyingkirkan rasa takut dari pikirannya, atletis, dan yang terpenting seorang yang lancar berbohong.

B. Umur

Umur yang ideal dari seorang penyelam pelajar adalah antara 16-35 tahun. Perkecualian boleh saja diperlakukan. Seorang yang berusia di atas 35 tahun diperbolehkan menyelam bila ia memiliki kesehatan fisik dan mental yang prima, tetapi perlu dilakukan pemeriksaan elektrokardiografi untuk menyingkirkan adanya penyakit jantung.

Penyelam muda yang berumur kurang dari 16 tahun harus diawasi dengan ketat karena mereka umumnya belum cukup matang. Semua pelatih dari penyelam muda haruslah menyadari bahwa anak didiknya tak akan mampu menolongnya bila ia mendapat kesulitan. Untuk melatih penyelam muda, dianjurkan untuk menggunakan tali menghubungkan dengan penyelam berpengalaman.

C. Pekerjaan

Penerbang dan awak kapal terbang lainnya harus diingatkan akan bahaya yang berhubungan dengan penerbangan setelah penyelaman. Orang-orang yang memerlukan pendengaran yang baik dalam pekerjaannya yang sehubungan dengan penyelaman.

D. Obat-obatan

Semua penyakit yang memerlukan pengobatan dengan obat-obatan harus dipertimbangkan dengan saksama karena keamanan penyelaman dapat berkurang, baik disebabkan oleh penyakitnya maupun karena obat yang ditelannya. Obat tidur, penenang, antimurung, antihistamin, antidiabetes, steroid, antiepilepsi, alkohol dan obat-obat halusinasi seperti marijuana dan LSD, kesemuanya dapat membahayakan penyelam. Antibiotika itulah yang mungkin berbahaya. Informasi terbaru mengatakan bahwa banyak obat-obatan tersebut mempunyai pengaruh buruk pada tekanan tinggi.

E. Jantung

Semua orang pengidap penyakit jantung yang berat tidak diperbolehkan menyelam. Ini bisa diketahui dari riwayat penyakitnya dengan pemeriksaan jasmani dan dengan pemeriksaan elektrokardiografi bila diindikasi, tekanan darah harus dalam batas normal.

Orang yang gemuk lebih mudah terkena penyakit dekompresi dan mungkin kesegaran jasmaninya tidak begitu baik. Namun

demikian mereka masih diperkenankan menyelam dengan syarat-syarat tertentu sehubungan dengan kedalaman dan lama penyelaman yang dilakukan.

F. Paru-paru

Penyakit paru-paru merupakan keadaan yang menyebabkan seseorang dinyatakan tidak cakap untuk menyelam. Penyelam harus memiliki fungsi pernapasan yang sempurna, bukan saja agar ia bisa bekerja dengan baik di bawah air, melainkan juga supaya peredaran udara di dalam paru-paru sempurna untuk menghindarkan terjadinya barotrauma paru. Paru-paru harus cukup elastis agar dapat meregang bila terjadi perubahan volume yang tiba-tiba naik. Penyakit paru-paru yang dimaksud adalah asma, bronkhitis, bronkiektasis, fibrosis, kista, dan cedera rongga dada atau pernah operasi rongga dada.

Dokter dapat mengetahui adanya sumbatan jalan napas setempat (yang dapat mengakibatkan *burts lung*) melalui pemeriksaan dengan stetoskop bila penyelam bernapas dalam dan cepat. Riwayat penyakit, pemeriksaan rontgen dan spirometri dapat membantu menilai adanya penyakit. Sejak dilakukannya pemeriksaan seperti tersebut di atas, amat jarang terjadi barotrauma paru waktu naik pada penyelam Angkatan Laut.

G. Hidung dan Tenggorokan

Hidung dan tenggorokan merupakan organ yang sering mengalami akibat adanya alergi seseorang yang kronis untuk dan sementara berulang-ulang, diluar *hay fever*, sinusitis, tonsilitis atau kelainan gigi harus dipertimbangkan dengan saksama. Deviasi septum nasi dapat menyumbat muara sinus. Semua faktor tersebut di atas dapat mengakibatkan barotrauma sinus atau telinga.

H. Telinga

Kedua telinga harus diperiksa dengan teliti. Telinga luar harus bersih dari kotoran dan tidak meradang. Gendang telinga harus terlihat bergerak sewaktu melakukan prosedur valsava. Gendang telinga yang cacat akibat pernah berlubang biasanya lebih rapuh. Dokter pemeriksa dapat menasihatkan untuk melakukan prosedur valsava dengan benar.

Pemeriksaan fungsi pendengaran (audiogram) harus dilakukan hingga frekuensi 8000 Hz. Setiap adanya kehilangan pendengaran harus dianalisis dengan teliti karena bisa bertambah berat bila di saat mendatang terjadi barotrauma. Setiap kerusakan yang terjadi pada organ pendengaran bisa berhubungan dengan organ keseimbangan. Untuk melihat kemungkinan tersebut, harus dilakukan pemeriksaan keseimbangan khusus, dan bila perlu elektronistagmogram. Hal ini yang dapat menyebabkan vertigo di bawah air.

I. Mata

Diperlukan penglihatan yang baik agar penyelam bisa melihat di mana kapalnya berada bila ia muncul agak jauh di permukaan. Penyelam yang menderita gangguan penglihatan dapat menggunakan lensa pada penutup mukanya (*face mask*) tetapi ia harus menyelam berpasangan dengan penyelam yang penglihatannya normal untuk berjaga-jaga bila penutup mukanya terlepas atau pecah sewaktu menyelam. Buta warna tidak begitu penting kecuali untuk penyelam profesional tertentu yang harus dapat membedakan warna dari bahan peledak, kabel-kabel ataupun silinder gas yang dikerjakannya.

J. Otak

Adanya kelainan pada sistem persarafan dapat memperberat gejala pada kelainan tertentu misalnya penyakit dekompresi. Penderita epilepsi walaupun dapat dikontrol dengan obat, tidak diperbolehkan

menyelam karena di dalam air dapat berakibat fatal. Semakin tinggi tekanan parsial oksigen, semakin besar kemungkinan kejang terjadi. Hipoksia dan hiperventilasi juga dapat menyebabkan kejang.

Migraine bertambah berat dengan penyelaman. Serangan *migraine* yang berat sering terjadi pada penyelam yang sebelumnya hanya menderita *migraine* ringan. Dalam keadaan tertentu (misalnya dengan menyelam berpasangan, membatasi kedalaman, dan sebagainya) penderita *migraine* dapat menyelam dengan cukup aman.

K. Keadaan Umum

Penyakit-penyakit seperti diabetes, penyakit ginjal, atau hati berat, dan sebagainya dapat meningkatkan bahaya akibat penyelaman. Penyakit atau cedera pada otot tulang dan sendi mempermudah terjadinya penyakit dekompresi dan sekaligus menyulitkan diagnosis. Kelelahan dapat terjadi dengan segera.

Terhadap penyelam profesional dan mereka yang sering lakukan penyelaman yang diperlukan prosedur dekompresi harus dilakukan pemeriksaan rontgen tulang-tulang panjang. Juga bagi yang bermaksud menjadi penyelam profesional pemeriksaan ini harus dilakukan dapat menjadi dasar dari penagihan asuransi bila di kemudian hari terjadi sesuatu yang tak diharapkan. Terhadap penyelam *sport* pemeriksaan tersebut tidak diperlukan.

Mabuk kendaraan dapat menyebabkan penyelam muntah di dalam air. Untuk menghilangkan kebiasaan tersebut diperlukan latihan. Merokok dapat mengurangi kesegaran jasmani dan mempermudah terjadinya barotrauma sinus, paru, dan telinga.

Wanita hamil sebaiknya jangan menyelam. Pengurangan oksigen tekanan udara saat dekompresi dan meningkatnya tekanan parsial oksigen pada waktu turun dapat berakibat buruk bagi bayi yang dikandungnya. Wanita hamil lebih mudah muntah di dalam air, terutama pada bulan pertama kehamilan.

Tidak ada komplikasi apa pun yang bisa terjadi pada seorang wanita yang sedang menstruasi bila ia menyelam. Tampon tidak akan mengakibatkan problem apa pun dan berbeda dengan pendapat umum. Ternyata tampon tidak meningkatkan bahaya diserang hiu.

Bab XXVII

Teknik Latihan dan Penyelamatan

Bab ini akan dibahas dengan amat terbatas karena buku ini tidak dimaksudkan sebagai “*diving manual*”. Pembaca dianjurkan untuk membaca buku-buku lain seperti *BSAC Diving Manual*, *US Navy Diving Manual*, *RAN* atau *RN Diving Manual*.

Amatlah disayangkan karena terjadinya beberapa kasus kematian pada suatu latihan penyelaman. Aspek komersial dari latihan penyelaman seharusnya jangan sampai mengabaikan faktor keselamatan dan tanggung jawab pelatih. Masih ada pelatih yang menggunakan cara-cara yang kurang memperhatikan keselamatan, kurang cukup memberi penerangan, menggunakan peralatan yang kurang memenuhi syarat, dan sering kali seorang instruktur melatih terlalu banyak siswa.

Juga amatlah disayangkan karena masih ada instruktur yang mengajarkan cara muncul bebas (*free ascent*). Latihan ini penuh dengan bahaya (kecuali bagi penyelam militer dan penyelam profesional tertentu) apalagi bila tidak tersedia fasilitas ruang rekompresi dan fasilitas lainnya di tempat latihan yang amat diperlukan untuk menyelamatkan jiwa bila terjadi emboli udara. Penyelidikan menunjukkan bahwa 23% penyelam militer yang melakukan latihan muncul bebas ternyata menderita emboli udara yang ringan berdasarkan pemeriksaan gelombang otaknya (EEG). Berapa banyak

dan berapa beratnya kecelakaan yang terjadi pada penyelam sipil, amatlah menakutkan untuk membayangkannya. Agaknya cara muncul bebas ini tidak begitu banyak manfaatnya bagi penyelam biasa dan mengingat besarnya bahaya, sebaiknya tidak perlu diajarkan.

Latihan penyelaman sebaiknya dilakukan di perairan yang terlindung. Awal latihan dapat dilakukan di kolam renang, tapi jangan memberikan sertifikat bila seorang calon belum mengalami penyelaman di laut terbuka. Jumlah penyelaman atau banyaknya jam menyelam yang dibutuhkan agar seseorang dapat dinyatakan sebagai penyelam masih jadi perdebatan. Akan tetapi minimal orang tersebut harus sudah pernah melakukan 15 kali penyelaman dan 2-3 kali menyelam di laut terbuka. Setiap latihan penyelaman harus diawasi dengan saksama oleh instruktur yang juga harus berada di bawah air. Seorang instruktur maksimal hanya boleh mengawasi dua siswa demi keselamatan siswa tersebut. Penggunaan tali penghubung (*"buddy line"*) dan jaket penyelamatan sangat dianjurkan untuk mempercepat usaha pertolongan bila terjadi kecelakaan. Dalam pelajaran penyelaman juga harus disertakan latihan praktik cara melakukan pertolongan dan cara resusitasi. Kadang-kadang seorang instruktur yang tidak memiliki sertifikat tidak mengajarkan cara tersebut dengan benar, bahkan sering hanya didasarkan atas pendapatnya sendiri. Ini tentu saja tidak dibenarkan. Siswa penyelam sebaiknya dianjurkan untuk mengikuti kursus PPPK dari badan yang resmi seperti Palang Merah Indonesia. Bila hal ini tidak memungkinkan, undanglah pejabat dari badan tersebut (PMI) untuk memberikan kursus tentang PPPK tersebut.

Siswa penyelam juga harus diberi pengetahuan tentang cara mendiagnosis dan mengobati atau melakukan tindakan perawatan beberapa kecelakaan penyelaman yang penting seperti penyakit dekompresi, emboli udara, dan sebagainya. Penulis berpendapat bahwa agar tidak mengajarkan penyelaman yang memerlukan

prosedur dekompresi pada siswa penyelam. Cukup dengan memberikan teorinya saja. Kecelakaan penyelaman yang khas dan cukup sering terjadi seperti “nyaris tenggelam” dan cedera akibat binatang laut harus diuraikan dengan jelas dan juga tentang cara penanggulangannya.

Seorang siswa yang mendapat sertifikat “C” atau yang sederajat haruslah diingatkan bahwa ia tidak diperbolehkan menyelam lebih dari 20-meter atau melakukan penyelaman yang memerlukan prosedur dekompresi sampai ia melanjutkan latihan praktiknya hingga ia dianggap dapat melakukan penyelaman seperti tersebut di atas dengan aman. Banyak penyelam dari kategori ini dengan pengalaman menyelam kurang dari 20 kali, menyatakan bahwa mereka telah mampu menyelam dengan baik ke kedalaman 30 meter atau lebih. Walaupun hal ini mungkin benar, tidak bisa mengubah kenyataan bahwa mereka tetap tidak diperkenankan menyelam melebihi batas yang telah ditentukan. Latihan lanjutan untuk penyelaman yang lebih dalam dapat dilakukan di dalam klub penyelaman. Ex-instruktur dapat tambahan pengetahuan kepada siswanya dengan menyelenggarakan kursus yang khusus atau menganjurkan ex-siswanya untuk menyelam dalam kelompok. Pada pendidikan lanjutan tersebut dapat diajarkan prinsip-prinsip dekompresi secara lebih terperinci. Beritahukanlah di mana terdapatnya fasilitas ruang rekompresi dan dokter yang mempunyai pengetahuan kesehatan hiperbarik bila terjadi kecelakaan akibat penyelaman yang serius.

Penyelam muda harus mengetahui alat selam dan bagian-bagian dari alat selam yang digunakannya dan ini harus diajarkan oleh instruktur. Pada latihan penyelaman sebaiknya semua alat selam yang lazim digunakan harus diketahui dan dipraktikkan oleh siswa sehingga apabila ia telah mendapat fasilitas, ia tak akan canggung lagi untuk mempergunakan alat selam tersebut dan dapat memelihara peralatan selamnya dengan baik.

Penjualan peralatan selam haruslah diawasi agar alat pernapasan dan udara tekan hanya boleh dijual kepada penyelam yang memiliki sertifikat. Sekarang ini banyak alat selam yang dijual kepada sembarang orang, baik mereka yang memiliki sertifikat maupun tidak. Juga kadang-kadang ada alat selam yang dijual kepada penyelam yang belum pernah diuji di dalam air sehingga menimbulkan kecelakaan begitu digunakan.

Setiap orang yang ingin belajar menyelam sebaiknya yakin bahwa calon instruktur nya adalah seorang yang mempunyai sertifikat sebagai pelatih. Mereka harus tahu bahwa menyelam itu penuh dengan bahaya dan jangan sampai mereka mempertaruhkan nyawanya pada seseorang yang tidak memiliki standar minimal instruktur sebagai berikut:

1. Mempunyai sertifikat yang sah sebagai instruktur.
2. Kelas yang kecil tidak lebih dari 2-3 orang siswa untuk seorang instruktur.
3. Tersedia fasilitas keselamatan seperti tali penghubung ("*buddy lines*"), jaket pelampung, dan sebagainya.
4. Tidak melakukan latihan muncul bebas (*free ascent*) dan sebagainya.

Jangan belajar menyelam pada instruktur yang:

1. Mempunyai peralatan yang telah usang untuk latihan menyelam.
2. Mengabaikan teori penyelaman dan kesehatan penyelaman dengan mengatakan bahwa hal tersebut merupakan pengetahuan yang tak berguna. Ini menunjukkan bahwa instruktur tersebut tidak mempunyai pengetahuan tentang hal tersebut.
3. Tidak menyuruh melakukan pemeriksaan kesehatan untuk penyelaman.
4. Tidak mengajarkan penyelaman di laut terbuka dan tidak mempunyai keinginan untuk memberi latihan lanjutan.

5. Menjamin bahwa siswa akan dapat lulus ujian dan memiliki kualifikasi untuk dapat menyelam dengan semua jenis alat selam dan untuk kedalaman berapa pun. Janganlah belajar menyelam dari seorang teman karena hal ini akan dapat lebih berbahaya.

Bab XXVIII

Fasilitas Pengobatan

Tidak hanya penyelam maupun instruktur penyelam yang memiliki fasilitas untuk mengobati kelainan akibat penyelaman. Hal ini dapat dimengerti karena mahalnya harga ruang rekompresi dan ventilator.

Namun demikian masih banyak terdapat alat penolong yang harganya murah dan terjangkau. Alat-alat ini haruslah terletak sedekat mungkin dengan tempat melakukan penyelaman, terutama bila menyelam di tempat yang jauh dari tempat pertolongan medis dapat segera diberikan. Peralatan tersebut harus tersedia untuk menjamin keselamatan nyawa apabila terjadi kecelakaan.

Fasilitas yang dimaksudkan di atas akan dijelaskan sehubungan dengan pembahasan tentang penyebab dari kecelakaan berikut ini.

A. Cedera karena binatang laut

Pada umumnya akan menyebabkan luka gigitan (hiu), sengatan (*ed Wasp*), atau luka tusuk disertai penyuntikan racun (ular laut, ikan *ad*, Kerang beracun). Peralatan yang murah dan mudah digunakan untuk keadaan ini.

1. Pembalut - terutama dari jenis yang mempunyai kasa tebal yang terikat lekat pada pembalut yang panjang. Pembalut ini dapat digunakan untuk pertolongan pada luka yang lebar

seperti gigitan hiu, untuk mengontrol perdarahan.

2. Pembalut ketat - lebih banyak dipakai daripada turniket. Berupa pembalut dari bahan linen atau kasa dengan lebar 8-10 cm dan panjangnya 30-50 cm yang dapat dipasang pada tiap titik dari anggota tubuh di antara badan dengan tempat cedera. Gunanya untuk menghentikan perdarahan. Cara pemasangan yang benar harus diketahui oleh semua yang menggunakannya (penolong) dan dapat dibaca pada buku tentang PPPK. Ligatur (dari bahan yang sama) hanya dapat menghalangi aliran darah balik dan bermanfaat untuk mengurangi banyaknya racun yang memasuki peredaran darah di dalam tubuh.
3. Jalan napas harus tersedia alat penolong pernapasan dari bahan plastik (sebaiknya yang tanpa katup searah). Alat merk Johnsons cukup murah dan cukup bermanfaat untuk pernapasan mulut ke mulut.
4. Alkohol atau boleh juga spiritus - berguna untuk menghancurkan sel-sel penyengat (namatosit) yang terdapat pada alat penyengat dari *blue-bottle*, *sea wasp*, dan sebagainya. Harus tersedia kira-kira 1 liter di dalam botol antipecah. Sebaiknya alkohol yang tak dapat diminum agar tidak habis sewaktu diperlukan.
5. Salep anestesi misalnya salep *Xylocaine* 5% untuk dioleskan pada kulit untuk mengurangi rasa sakit akibat sengatan.
6. Salep antibiotik untuk dioleskan pada luka kecil yang disebabkan karang guna mencegah ataupun mengobati infeksi.
7. Cairan antiseptik untuk kulit. Untuk membersihkan luka sebelum pemberian salep antibiotik. Bisa digunakan:
 - Larutan *PhisoHex* - satu bagian *phisoHex* dilarutkan dengan empat bagian air
 - *Mercurochrome* 1% (obat merah) - botol 25 cc.
 - larutan *Salvon 1c* - botol 200 cc.

8. Alat bedah kecil berupa:

- Gunting
- Forsep botol irigasi mata
- Lampu senter
- Kertas dan pena untuk mencatat hasil pengobatan dan keadaan korban,
- Perban
- Plester.

Bila akan melakukan penyelaman di daerah yang jauh dari fasilitas kesehatan, harus ada beberapa orang yang mempunyai kemampuan untuk melakukan tindakan PPPK dan resusitasi. Seorang yang terlatih akan bisa menggunakan larutan anestesi untuk penyuntikan lokal, misalnya larutan *Xylocaine* 1%. Penyuntikan darurat oleh orang yang terlatih sebanyak 2-5 cc larutan ini di daerah sekitar luka akan dapat mengurangi rasa nyeri hebat yang disebabkan *stone fish* dan sebagainya. Jangan memberikan lebih dari 10 cc *Xylocaine* tanpa pengawasan dokter. Larutan *Xylocaine* tersebut tidak boleh mengandung atau dicampur dengan adrenalin. Jangan menyuntikan *Xylocaine* bila korban alergi dengan adrenalin. Jangan menyuntikan *Xylocaine* bila korban alergi terhadap obat ini. Air panas sangat berguna untuk mengobati luka karena sengatan. Bila tidak dengan segera bisa didapatkan, air karburator yang panas dapat juga digunakan. Peralatan penolong yang juga bermanfaat untuk pertolongan di daerah yang terpencil adalah resusitator "*Air-viva*". Alat ini dapat memperpanjang waktu untuk ventilasi paru bila terjadi gangguan pernapasan yang berkaitan dengan terhentinya pernapasan pada korban gigitan ular laut, gigitan *blue ringed octopus*, atau "nyaris tenggelam". Penolong harus sudah terbiasa dalam penggunaan alat ini ataupun alat pembantu pernapasan lainnya.

Alat yang paling efektif untuk digunakan pada kedaruratan pernapasan adalah *Oxy-viva* atau yang sejenis. Oleh karena harga alat ini cukup mahal, biasanya hanya dimiliki oleh klub penyelaman.

Namun demikian dianjurkan pula agar setiap instruktur penyelam memiliki alat ini. Alat ini dapat memberikan oksigen bertekanan positif hingga selama 20 menit dari silinder yang berukuran 14 *cubic feet* (392 liter), atau pengaliran oksigen terus-menerus melalui masker selama 60 menit bila kecepatan aliran 6 liter/menit. Dengan menambahkan silinder oksigen yang lebih besar akan dapat memperpanjang waktu pemberian.

B. Cedera akibat penyelaman

Pada umumnya mengakibatkan ketidaksadaran, nyaris tenggelam, kedinginan, muntah, dan sebagainya. Fasilitas yang diperlukan untuk mengatasi keadaan tersebut:

1. Obat yang diberikan lewat mulut seperti:
 - Analgenetika untuk melawan rasa sakit (Aspirin, Panadol, Codein).
 - Obat antidiare (Kaomycine, Lomotil, Imodium, dan sebagainya).
 - Obat anti-influenza (Decolgen. Stop Cold, Refagan, dan sebagainya).
 - Obat tetes hidung (Otrivin, Tyzine, Vibrocil, dan sebagainya).
2. Selimut untuk menghangatkan tubuh. Mandi air panas sebetulnya lebih baik tapi mungkin tidak terdapat di tempat kejadian.
3. Fasilitas untuk mempertahankan jalan napas dan untuk pemberian pernapasan buatan (Alat pernapasan Johnson, "Air-viva", dan sebagainya).
4. Alat penghisap lendir untuk mengeluarkan muntahan, lendir, dan sebagainya dari mulut atau jalan napas pada korban yang tidak sadar atau nyaris tenggelam.
5. Ruang kompresi (dulu disebut ruang rekompresi). Ada dua jenis yaitu ruang yang kecil dan ringan atau ruang *portable*

untuk dua orang, dan ruang yang besar dan statis untuk lebih dari dua orang. Ruang yang kecil biasanya hanya terdiri dari satu ruangan dan dapat ditekan hingga kedalaman 50-100 meter. Ruang yang tersendiri, kemampuan menahan tekanannya adalah hingga kedalaman 80-200 meter. Kedua jenis ruangan tersebut dirancang untuk tujuan khusus, tetapi banyak penyelam yang berpendapat bahwa kedua jenis ruangan tersebut diperuntukkan bagi pengobatan penyakit dekompresi dan emboli udara. Ruang yang kecil sebenarnya dirancang untuk melakukan “dekompresi di permukaan” ketika penyelam yang melakukan dekompresi yang sebenarnya di dalam ruangan tersebut selambat-lambatnya 5 menit setelah ia tiba di permukaan. Ruang ini tidak dirancang untuk mengobati penyakit dekompresi ataupun emboli.

Bila seseorang telah masuk ke dalam ruangan yang kecil ini, ia akan sukar mendapatkan pertolongan medis apabila keadaannya memburuk, dengan pengecualian apabila:

- Ruang tersebut cukup besar hingga dapat dilakukan pengobatan kedaruratan bagi penyelam tersebut dengan ditemani oleh seorang perawat.
 - Ruang tersebut diperlengkapi dengan engsel pintu khusus sehingga dapat dilekatkan pada ruangan kompresi besar. Penyelam bersama dengan ruangan tersebut diangkut ke ruang kompresi besar sambil tetap berada dalam tekanan.
6. Oksigen - para penyelam pada umumnya telah tahu bahwa bernapas dengan 100% oksigen dapat memperpendek waktu dekompresi dan juga oksigen tersebut digunakan untuk mengobati penyakit dekompresi. Akan tetapi banyak yang tidak mengetahui bahwa bernapas dengan kadar oksigen melebihi 20% mengandung risiko keracunan oksigen, baik sewaktu diisap di permukaan maupun di bawah air. Hanya

orang yang telah terlatih dengan baik yang diperbolehkan memberikan 100% oksigen. Ini untuk keamanan baik korban maupun penolong itu sendiri.

Silinder berisi oksigen merupakan alat pembantu yang sangat berguna bagi penyelam yang melakukan penyelaman dalam. Akan tetapi penggunaannya harus secara hati-hati dan pembantu penyelaman harus sudah terlatih dalam penggunaan silinder oksigen tersebut. Peralatan yang baik harus terdiri dari:

- Silinder oksigen
- Manipol pengurang aliran
- Alat pengukur aliran
- Pipa plastik
- Masker yang menutupi mulut dan hidung serta adanya katup penopang (*relief valve*) dan kantong pernapasan, atau
- *Polymask*.

Alat lain yang juga bisa digunakan adalah *Oxy-viva* atau *Air-viva* yang dapat disuplai dengan oksigen. Pemakaiannya harus dilakukan secara amat berhati-hati. Merokok, minyak, bensin, dan benda-benda mudah terbakar lainnya tidak boleh berada di sekitar tempat penggunaan oksigen karena bila ada kebocoran oksigen, akan sangat mudah terjadi bahaya kebakaran. Dengan pemakaian yang terkontrol baik, pernapasan dengan 100% oksigen dapat menolong dan memperpanjang kesempatan hidup korban hingga ia bisa diangkut ke rumah sakit.

Oksigen murni yang diisap dalam waktu lama akan dapat menyebabkan keracunan oksigen. Hal ini akan terjadi bila mengisap oksigen dengan tekanan parsial 1 ATA di permukaan. Untuk mencegah terjadinya keracunan oksigen pada paru, korban harus bernapas dengan udara biasa selama 5 menit tiap 30 menit bernapas oksigen murni. Penggunaan *Emergency Oxygen*

Decompression Unit pada pengobatan penyakit dekompresi di dalam air telah dibahas dalam bab mengenai penyakit dekompresi.

Daftar Pustaka

- Anatriera, R. A. 2009. Aktivitas Spesifik Katalase Jaringan Ginjal Tikus yang Diinduksi Hipoksia Hipobarik Akut Berulang. Skripsi, Jakarta, Universitas Indonesia.
- Uguen, M., Pougnet, R., Uguen, A., Loddé, B., & Dewitte, J. D. 2014. "Dysbaric Osteonecrosis among Professional Divers: A Literature Review". *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 41(6), 579-587.
- Martin, S. C. 2021. *Aerospace Physiology: Aeromedical and Human Performance Factors for Pilots*. Gatekeeper Press.
- Commander NSSC, M. U. N. D. 2017. "US Navy Diving Manual Rev. 7 Commander NSSC, Manual US Navy Diving". *Journal of Traumatic Stress*, 2(56), 991.
- Arbanto, B., Putra, K. P., & Al Ardha, M. A. 2018. "Perbedaan Tingkat Keberhasilan 3 Metode Ekualisasi pada Penyelam Terlatih di Lingkungan Air Tawar". *Jurnal Keolahragaan*, 6(2), 193-199. <https://doi.org/10.21831/jk.v6i2.21560>
- Farida, I., Arini, D., & Astuti, N. M. 2020. "Aplikasi Teknik Equalisasi Untuk Mencegah Barotrauma Pada Penyelam Tradisional". *GEMASSIKA : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 155. <https://doi.org/10.30787/gemassika.v4i2.545>
- Sugianto, S., Hadisaputro, S., Supriharti, S., Munasik, M., & Adi, M. S. 2017. "Beberapa Faktor yang Berpengaruh terhadap Barotrauma Membran Timpani pada Penyelam Tradisional di Wilayah Kabupaten Banyuwangi". *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Komunitas*, 2(1), 27. <https://doi.org/10.14710/jek.v2i1.3969>
- Navisah, S. F., Maru'fi, I., & Sujoso, A. D. P. 2016. "Faktor Risiko Barotrauma Telinga pada Nelayan Penyelam di Dusun Watu Ulo Desa Sumberejo Kecamatan Ambulu Kabupaten Jember". *Jurnal IKESMA*, 12(1), 98-111.

- Hadi, N. 2015. *Macam-macam Penyelaman*. Simposium Sehari Penyelaman dengan Aman. Jakarta,. *Oseana*, XVI(4), 1-12. [http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_xvi\(4\)1-12.pdf](http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_xvi(4)1-12.pdf)
- Edmonds, C. 2012. "Diving Medicine for Scuba Divers". *Diving And Hyperbaric Medicine*, 42(2), 108-108.
- Maulana, O. Rosadi, D. Asmarabawa,.Riyono, Adi. Wadjdi, Farid. Susanto, A. 2000. *Pengantar Ilmu Kesehatan Penyelaman*. Jakarta. Gramedia.
- Lindholm, P., & Lundgren, C. E. G. 2009. "The Physiology and Pathophysiology of Human Breath-Hold Diving". *Journal of Applied Physiology*, 106(1), 284-292. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90991.2008>
- Duke, H. I., Widyastuti, S. R., Hadisaputro, S., & Chasani, S. 2017. "Pengaruh Kedalaman Menyelam, Lama Menyelam, Anemia Terhadap Kejadian Penyakit Dekompresi Pada Penyelam Tradisional". *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 12(2), 12-18. <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jkmi/article/download/3170/3054>
- Jusmawati, Arsin, A. A., & Naiem, F. 2016. "Faktor Risiko Kejadian Decompression Sickness pada Pulau Saponda Risk Factors of Decompression Sicknessin Traditional Divers of a Fishing Community in Saponda Island". *Jurnal MKMI*, 12(2), 63-69.
- Suranani, M., Hartono, R., & Aluddin. 2019. "Faktor Yang Berhubungan Dengan Kejadian Decompression Sickness Pada Aktivitas Penyelaman Menggunakan Kompresor". *Jurnal Keperawatan*, 3(2), 30-35.
- Widyastuti, S. R., Hadisaputro, S., & Munasik, M. 2019. "Berbagai Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kualitas Hidup Penyelam Tradisional Penderita Penyakit Dekompresi". *Jurnal Epidemiologi Kesehatan Komunitas*, 4(1), 45. <https://doi.org/10.14710/jekk.v4i1.4429>

- Santoso, A. D. 2019. "Kualitas Hidup Penyelam". *Jurnal Hidrosfir Indonesia*, 1(2).
- Saraswati, D. A. 2018. *Faktor Risiko Gejala Penyakit Dekompresi pada Nelayan Pencari Ikan Hias Laut di Kabupaten Banyuwangi*. Tesis, Universitas Jember.
- Winda, T. U. 2020. "Occupational Diving: Neurological Complications of Diving". *Prosiding Ilmiah Dies Natalis Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya*, 1(1).
- Walangitan, A. C., Palandeng, O. I., & Runtuwene, J. 2021. "Gambaran Gangguan Pendengaran pada Penyelam". *Jurnal Biomedik : Jbm*, 13(2), 192-198. <https://doi.org/10.35790/jbm.13.2.2021.31868>
- Kristianto, W. 2012. "Gambaran Gangguan Pendengaran pada Penyelam TNI Angkatan Laut". Skripsi, Universitas Indonesia.
- Rosyanti, L., Hadi, I., Rayahu, D. Y. S., & Birawida, A. B. (2019). Mekanisme yang Terlibat dalam Terapi Oksigen Hiperbarik: theoretical review hyperbaric oxygen therapy/HBOT. *HIJP : Health Information Jurnal Hiperbarik*, 11(2), 182-205.
- Sukbar, S., Dupai, L., & Munandar, S. (2016). Hubungan Aktivitas Penyelam Dengan Kapasitas Vital Paru Pada Pekerja Nelayan Di Desa Torobulu Kecamatan Laeya Kabupaten Konawe Selatan Tahun 2016 (Doctoral dissertation, Haluoleo University).
- Koesdianasari, E. S. 2018. "Hubungan Antara Pengetahuan Menyelam dengan Gangguan Pendengaran pada Pekerja Bawah Air di Perusahaan Konstruksi Bawah Laut". *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 7(3), 348-356.
- Buzzacott, P. 2008. "Western Australian Dive Industry Growth and Survival, 1969-2005". *Journal of Ecotourism*, 7(2-3), 226-234.
- Coremap. 2009. *Kondisi Sosial-Ekonomi Masyarakat di Lokasi .Kab. Selayar*. LIPI.
- Disrinama, A. M. 2019. "Studi Analitis Penurunan Forced Expiratory Volume In 1 Second Pada Pekerjaan Penyelam". *Healty Tadulako Jurnal*. 6 , 105-112.

Lampiran A

PROSEDUR DAN TABEL DEKOMPRESI DARI ROYAL NAVY DIVING MANUAL (BR 2806)

1. Dekompresi dapat dilakukan dengan salah satu dari 3 cara:
 - Di dalam air, penyelam naik sambil berpegangan pada tali penghubung.
 - Di dalam ruang kompresi di permukaan
 - Di dalam ruang kompresi yang berada di bawah air.
2. Cara dekompresi yang digunakan tergantung dari jenis gas pernapasan yang diisap penyelam.
3. Cara termudah dan tersering digunakan untuk penyelaman yang relatif singkat adalah dekompresi di dalam air.
4. Ruang kompresi digunakan untuk dekompresi di permukaan, untuk penyelaman yang lama gunakan ruang kompresi yang berada di bawah air.
5. Cara mana pun yang digunakan, faktor yang menentukan *ave skedul*/tabel dekompresi. Skedul yang berada telah tersedia tergantung dari keadaan, kebanyakan berupa dekompresi “bertahap” (*staging decompression*). misalnya naik ke kedalaman atau tahapan yang telah diperhitungkan untuk waktu yang tertentu kemudian naik ke tahap selanjutnya. Penahapan ini telah tercantum di dalam tabel dekompresi.

5103. KERJA BERAT DEKOMPRESI DITINGKATKAN

1. Bila seorang penyelam berada dalam pengaruh tekanan, tubuhnya akan menyerap lebih banyak gas dari biasanya dan ia membutuhkan prosedur dekompresi yang lebih lama untuk mengeluarkan gas tersebut.
2. Pada setiap keadaan ketika penyelam melakukan pekerjaan berat, prosedur dekompresi harus dilakukan pada waktu yang

setingkat lebih tinggi dari prosedur rutin untuk kedalaman dan waktu penyelaman yang bersangkutan.

5104. PROSEDUR SETELAH PENYELAMAN YANG MELEBIHI 35 METER.

1. Penyelam yang telah melakukan penyelaman pada kedalaman melebihi 35 meter untuk waktu di atas dari garis pembatas seperti yang tercantum pada Tabel 11, selama 12 jam setelah ia menyelesaikan penyelamannya harus berada di sekitar ruang kompresi yang dapat dicapai dalam waktu kurang dari 4 jam.
2. Penyelam yang melakukan penyelaman pada kedalaman 35 meter atau lebih untuk waktu yang berada di bawah garis pembatas seperti yang tercantum pada Tabel 11, harus berada di dekat ruang kompresi selama 4 jam setelah ia selesai melakukan penyelamannya dan berada di sekitar ruang kompresi yang dapat dicapai dalam waktu 4 jam untuk 12 jam berikutnya.
3. Bila tidak terdapat ruang kompresi, penyelam harus selalu berada di atas kapal untuk diobservasi dalam waktu 4 jam pertama seperti tersebut pada butir 2 di atas.

5111. PENYELAMAN BERULANG (*REPETITIVE DIVES*)

1. Penyelaman di dalam air ataupun di ruang kompresi pada kedalaman kurang dari 10 meter tidak memerlukan pembatasan waktu ataupun dekompresi selanjutnya apabila sebelumnya telah melakukan penyelaman yang lebih dalam, dan penyelaman dimaksud tidak dihitung/dianggap sebagai “menyelam” seperti yang dimaksudkan dalam bab ini.
2. Penyelaman dengan 100% oksigen dapat dilanjutkan dengan penyelaman yang lebih dalam tanpa mengubah prosedur dekompresi yang diharuskan.

3. Penyelaman yang melakukan penyelaman ke kedalaman lebih dari 42 meter atau penyelaman yang melebihi garis pembatas tidak diperbolehkan melakukan penyelaman lagi dalam waktu 23 jam setelah ia tiba di permukaan. (Penulis berpendapat seharusnya dalam 24 jam sesudahnya).
4. Bila interval waktu di antara penyelaman-penyelaman di sekitar garis pembatas melebihi 6 jam, tidak perlu melakukan perubahan prosedur dekompresi asalkan penyelaman yang kedua tidak melebihi 42 meter.
5. Bila interval waktu seperti tersebut dalam butir 5 kurang dari 6 Jam, harus dilakukan prosedur untuk penyelaman kombinasi seperti yang tertera pada aturan Nomor 5112.

5112. STASIUN UNTUK PENYELAMAN KOMBINASI

1. Stasiun-stasiun dekompresi untuk penyelaman kombinasi didapat dengan menjumlahkan waktu dari penyelaman pertama dan penyelaman-penyelaman berikutnya sehingga didapat jumlah waktu dari seluruh penyelam. Jumlah waktu tersebut dan kedalaman yang terbesar dari kedalaman-kedalaman penyelaman yang dilakukan dipakai untuk menentukan stasiun-stasiun dekompresi dari tabel dekompresi yang dipakai untuk penyelaman tunggal.
2. Jumlah seluruh waktu tersebut tidak boleh melebihi jumlah waktu untuk dekompresi (kolom 4 tabel dekompresi) selama 75 menit atau setingkat di bawahnya bila dalam tabel yang dimaksud tidak terdapat angka 75.
3. Penyelaman dengan oksigen murni tidak ikut diperhitungkan. Contoh (Tabel 11)
4. Sebagai contoh, bila penyelam bernapas dengan udara turun ke 26 meter selama 32 menit, ia harus melakukan penghentian selama 10 menit. Jika ia dalam waktu kurang dari 6 jam kemudian turun lagi dengan waktu penyelaman

yang pertama sehingga menjadi 68 menit, dengan demikian pada penyelaman yang kedua ini ia harus berhenti selama 45 menit.

5. Contoh di atas adalah penyelaman di bawah garis pembatas. Akan tetapi boleh dilakukan oleh karena jumlah waktu untuk dekompresi kurang dari 70 menit. Dalam tabel yang dimaksud (untuk kedalaman 26 meter) tidak terdapat angka 75 pada kolom 4, jadi diambil yang setingkat lebih rendah, yaitu 70 menit.
6. Bila penyelaman harus turun lagi ke dalam air, lamanya penyelaman yang terakhir tidak boleh lebih dari 22 menit. Bila ia menyelam selama 24 menit (misalnya), jumlah waktu seluruhnya akan menjadi 92 menit (32+24) dengan jumlah waktu untuk dekompresi butir 2 di atas. Penyelaman terakhir bila dilakukan selama maksimal 22 menit berarti waktu yang dibutuhkan untuk dekompresi adalah 70 menit.

5112. PENYELAMAN DI BAWAH GARIS PEMBATA

1. Bagian dari tabel yang berada di atas garis pembatas adalah tabel untuk pekerjaan yang biasa dan tidak perlu ditakutkan akan terjadi penyakit dekompresi. Penyelaman yang dilakukan untuk waktu yang berada di bawah garis pembatas mengandung risiko terkena penyakit dekompresi dan risiko ini makin bertambah besar dengan makin jauh dilampauinya garis pembatas tersebut. Penyelaman di bawah garis pembatas hanya boleh dilakukan bila tersedia ruang kompresi di tempat penyelaman dan juga hanya bila keadaan memungkinkan. Risiko ini tidak dapat dikurangi dengan mengisap oksigen selama melakukan dekompresi.
2. Penyelam yang telah melakukan penyelaman di bawah garis pembatas tidak diperbolehkan menyelam lagi dalam waktu 12 jam sesudahnya.

3. Ia juga harus selalu berada di sekitar ruang kompresi dan diawasi selama 4 jam (Lihat aturan 5104 butir 2).

5121. PENYELAMAN DI TEMPAT YANG TINGGI

1. Penyelaman pada umumnya dilakukan di batas permukaan air, di mana tekanan di permukaan adalah satu berabsolut (satu ATA).
2. Bila menyelam di ketinggian (misalnya di danau di pegunungan) tekanan di permukaan kurang dari 1 ATA. Oleh karenanya harus dilakukan penyesuaian tabel dekompresi untuk mencegah penyakit dekompresi pada atmosfer yang renggang.
3. Air di tempat penyelaman biasanya air tawar. Akan tetapi penghentian dekompresi harus dilakukan sama seperti pada air garam sehingga batas keamanan diperlebar.
4. Perubahan dilakukan sebagai berikut:
 - Penyelaman di ketinggian 100-300 meter: tambahkan 0.25 kali kedalaman dari kedalaman penyelaman.
 - Penyelaman di ketinggian 300-2000 meter: tambahkan 0.3 kali kedalaman dari kedalaman penyelaman.
 - Penyelaman di ketinggian 2000-3000 meter: tambahkan 0.5 kali kedalaman dari kedalaman penyelaman.
5. Sebagai contoh, penyelaman di ketinggian 1000 meter sedalam 24 meter harus melakukan prosedur dekompresi untuk tabel kedalaman 32 meter.
6. Tidak diperlukan penyesuaian untuk penyelaman di ketinggian kurang dari 100 meter.

5122. PENYAKIT DEKOMPRESI-PEMBATASAN PENERBANGAN.

1. Untuk mencegah terjadinya penyakit dekompresi akibat melakukan penerbangan setelah menyelam, aturan-aturan ini, yang disesuaikan dengan tekanan dalam kabin pada

penerbangan komersial dengan ketinggian antara 5000-9000 kaki, harus dipatuhi:

<ul style="list-style-type: none"> • Periode sebelum terbang • 2 jam • 24 jam 	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis Penyelaman • Tanpa dekompresi • Memerlukan dekompresi
--	---

DEKOMPRESI DI DALAM AIR

5201. UMUM

1. Bila melakukan dekompresi di dalam air, penyelam harus selalu bergantung pada tali penghubung. Untuk amannya dekompresi, kedalaman maksimum penyelaman dan setiap kedalaman stasiun dekompresi harus diketahui dengan pasti.
2. Di stasiun dekompresi jangan berenang walaupun membawa alat pengukur kedalaman.
3. Bila seorang penyelam tiba di permukaan sebelum ia menyelesaikan seluruh waktu dekompresinya, ia harus segera diperintahkan kembali ke dalam air untuk menyelesaikan sisa waktunya. Harus diingat bahwa pada kasus demikian makin besar bahayanya terjadinya penyakit dekompresi.
4. Kedalaman maksimal penyelaman dapat ditentukan dengan alat pengukur kedalaman. Ingatlah bahwa apabila penyelam berada dalam satu daerah yang luas, satu alat pembantu pengukur kedalaman tidak mencukupi untuk menentukan kedalaman maksimum penyelamannya. Kedalaman maksimum juga dapat ditentukan dengan membaca tanda kedalaman pada tali penghubung – yang juga berupa pipa udara pada SDDE – kedalaman ditunjukkan oleh tanda yang terdapat pada satu sisi pipa. Bila penyelam membawa alat pengukur kedalaman dan mempunyai hubungan telepon

dengan pembantunya yang berada di permukaan, ia harus memberitahukan berapa kedalamannya ke permukaan.

5. Tali penghubung yang mempunyai tanda ukuran kedalaman hanya dapat menunjukkan ukuran yang tepat apabila terletak tegak lurus di dalam air. Bila karena suatu sebab tali ini kendor dan membentuk sudut dengan badan kapal, tali harus diangkat ke dasar dan dibiarkan menggantung atau gunakan tali lainnya seperti tercantum dalam aturan 3342.

5202. MENGAWASI NAIKNYA PENYELAM

1. Penyelam diperintahkan naik dengan isyarat empat kali tarikan dan harus naik pada tali penghubung dengan kecepatan tetap yaitu 1 meter tiap 3 detik, jaga jarak dengan gelembung udara yang terkecil bila dapat dilihat. Pembantu di atas harus memegang tali penghubung tersebut agar setiap saat ia dapat merasakan adanya penyelam yang sedang naik. Isyaratkan penyelam untuk berhenti dengan satu kali tarikan bila ia sudah mencapai stasiun dekompresinya yang pertama penyelam berhenti dan membalas isyarat tanda mengerti, kemudian pembantu memeriksa kembali kedalaman tersebut dengan teliti, dan berikan isyarat pada penyelam bila perlu dilakukan penyesuaian kedalaman.
2. Prosedur yang sama dilakukan pada waktu naik ke stasiun berikutnya sesuai dengan yang tertera pada tabel dekompresi. Kecepatan naik tetap 1 meter/3 detik.
3. Selama naik ke permukaan, yang paling penting adalah bahwa kecepatan naik harus tetap, daripada melengkapi waktu naik sehingga persis sama seperti yang tercantum pada tabel dekompresi.

5203. MENGAWASI NAIKNYA PERENANG.

1. Seorang penyelam yang melakukan renangan di dalam air naik ke permukaan dengan bantuan tali (*lazy shot*) seperti tersebut dalam aturan 3342.
2. Kapal pembantu penyelam mendekati *buoy* penyelam dan memberi isyarat kepada penyelam untuk naik melalui tali pada *buoy* tersebut. Segera setelah isyarat dimengerti oleh penyelam, *lazy shot* disatukan (diikatkan) pada tali *buoy* dan *lazy shot* diturunkan hingga 5 meter di bawah stasiun dekompresi pertama. Penyelam kemudian memegang *lazy shot* tersebut.
3. Setelah *lazy shot* dipegang, penyelam memberi tanda ke permukaan dan tetap memegang tali tersebut. Pembantu kemudian membimbing penyelam untuk melengkapi prosedur dekompresi yang diperlukan.

TABEL DEKOMPRESI**5601. Penggunaan tabel**

1. Tabel dekompresi yang dipergunakan tergantung dari jenis dan lamanya penyelaman.
2. Bab ini berisikan semua prosedur yang dapat digunakan baik untuk mencegah juga untuk mengobati penyakit dekompresi dan emboli udara.
3. Tabel yang digunakan untuk pencegahan diberlakukan sebagai bagian dari penyelaman dan disebut sebagai tabel penyelaman. Nomor seri dari tabel-tabel tersebut tercantum dalam tabel 11 dan 12. Tabel lainnya yang bernomor seri 51, 61, 71 dan 81, digunakan untuk pengobatan penyakit dekompresi, baik yang terjadi sewaktu ataupun setelah penyelaman, dan disebut sebagai tabel pengobatan. Cara penggunaan tabel-tabel tersebut tercantum pada aturan No.

5602, 5603 dan pada kata pembukaan dari masing-masing tabel.

5602. PENGGUNAAN TABEL PENYELAMAN.

1. Tabel penyelaman yang berada dimaksudkan untuk tiap keadaan yang berbeda pula. Akan tetapi bentuk tabel dan cara penggunaannya sama saja.
2. Pembatasannya juga sama. Akan tetapi, apabila terdapat keraguan dalam menentukan kedalaman ataupun lamanya penyelaman, gunakanlah kolom yang setingkat lebih besar.
3. Tabel penyelaman terdiri dari:
 - Kedalaman (kolom 1). Penambahan kedalaman tiap kolom adalah 3 meter, dan kolom yang digunakan adalah kolom yang setingkat lebih besar dari kedalaman penyelaman yang dilakukan apabila angka untuk kedalaman tersebut tidak tercantum dalam daftar. Misalnya untuk penyelaman 28 meter gunakanlah kolom 30 meter. Kolom 33 meterlah yang harus digunakan.
 - Lama penyelam (kolom 2). Lama penyelaman adalah waktu sejak penyelam meninggalkan permukaan air hingga ia akan mulai naik ke permukaan. Kolom yang digunakan adalah yang setingkat lebih tinggi. Misalnya penyelaman sedalam 30 meter selama 23 menit, harus menggunakan kolom 25 menit. Bila kurang yakin akan waktu tersebut, gunakanlah kolom 30 menit.
 - C. Stasiun dekompresi (Kolom 3). Stasiun dekompresi dicantumkan di bagian dari kedalaman untuk waktu yang tertentu. Waktu ke stasiun pertama berlaku sejak penyelaman meninggalkan dasar dan waktu pada tiap stasiun berikutnya berlaku sejak penyelam meninggalkan stasiun sebelumnya. Dengan kata lain waktu untuk naik sudah tercakup dalam waktu di tiap stasiun dekompresi.

- Dekompresi dengan oksigen. Pengisapan oksigen dilakukan sewaktu melakukan prosedur dekompresi di dalam ruang kompresi, atau di dalam air setelah melakukan penyelaman dalam. Berbeda dengan butir c di atas, waktu naik tidak termasuk di dalam waktu di stasiun tempat melakukan perubahan media pernapasan dari udara ke oksigen. Waktu di stasiun oksigen berlaku sejak laporan “penyelam bernapas oksigen” diterima. Waktu naik yang dilakukan sebelumnya tidak dihitung. Waktu naik di antara tiap stasiun termasuk dalam waktu di stasiun dekompresi.
- Perubahan bernapas ke pernapasan udara. Bila karena suatu sebab penyelam tidak lagi bernapas dengan oksigen dan mengubahnya menjadi bernapas dengan udara, waktu yang digunakan untuk bernapas dengan udara adalah dua kali waktu pernapasan oksigen.

Garis pembatas. Lihat aturan 5113 HARBA

Kecepatan naik. Lihat aturan 5202

5603. PENGGUNAAN TABEL PENGOBATAN (Lihat lampiran “C”).

1. Setiap tabel pengobatan digunakan untuk keadaan yang tertentu dari penggunaannya diuraikan pada kata pembukaan dari tiap seri.
2. Sebagai tambahan dari tiap tabel ada beberapa faktor yang diuraikan berikut ini
 - Waktu turun. Waktu turun, yang berbeda-beda setiap tabel, tidak termasuk dalam pengobatan. b. Waktu pengobatan. Pencatatan waktu dari tiap tabel dimulai apabila kedalaman/tekanan maksimum telah dicapai, dan dinyatakan dalam jam dan menit yang dicantumkan pada bagian tepi dari setiap langkah yang dilakukan pada tabel tersebut.

- C. Stasiun pengobatan. Lamanya waktu di tiap stasiun telah ditentukan. Pernapasan oksigen dilakukan sesuai petunjuk.
- Naik. Kecepatan naik berbeda-beda pada setiap tabel. Akan tetapi waktu naik makin kritis menjelang permukaan, yaitu terjadi kecepatan perubahan volume yang terbesar. Apabila udara mulai merembes masuk ke dalam ruang kompresi ketika mendekati permukaan, mungkin udara tekan perlu sedikit ditambah. Atau mungkin pula manometer kedalaman menunjukkan bahwa permukaan telah dicapai, padahal masih ada sedikit tekanan di dalam ruang kompresi. Bila hal ini terjadi, ruang kompresi harus terus diturunkan tekanannya sampai terjadi keseimbangan.
- Di permukaan. Setelah tiba di permukaan, baik penderita maupun penolongnya (*attendant*) harus tetap berada di dalam ruang kompresi selama 1 menit untuk menjaga kalau-kalau gejalanya kambuh lagi.

Tentang Penulis



Qomariyatus Sholihah

Adalah staf pengajar pada Fakultas Teknik, Departemen Teknik Industri Universitas Brawijaya, Malang. Ia memperoleh gelar Ahli Madya Hiperkes (Amd.hyp) dari Universitas Airlangga, Surabaya dengan menempuh pendidikan sejak tahun 1997-2000, Sarjana Teknik Industri dari Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dengan masa pendidikan tahun 1996-2001, Magister Kesehatan (M. Kes) dari Universitas Airlangga, Surabaya dengan masa pendidikan tahun 2001-2003, dan Doktor (S3) di bidang Keselamatan dan kesehatan kerja(K3) dari Universitas Brawijaya, Malang pada dengan masa pendidikan tahun 2007-2011. Selain itu ia pernah mendapatkan gelar Guru Besar di bidang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada tahun 2015 di usia yang ke-36 tahun, hal ini mengantarkan ia mendapatkan penghargaan sebagai Guru Besar Wanita termuda di Indonesia oleh Museum Rekor Indonesia (MURI) pada saat pengukuhan tanggal 11 Juni 2015. Ia telah menulis lebih dari seratus artikel di jurnal nasional maupun internasional. Selain itu ia telah menulis berbagai 26 buku ajar maupun buku teks di antaranya sebagai berikut *Hyperkes PAK (Penyakit Akibat Kerja)*, *Job Safety Analysis (Pertambangan Batubara, Industri Makanan, RS)*, *Good Housekeeping 5S, Antioksidan dan Batubara, Dasar-dasar Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Ergonomika dan Faktor Manusia (Konsep Dasar)*, *K3 Rumah Sakit*, dan *Ergonomi dan Keselamatan Kerja Industri*.



Dr. Sahrir Sillehu, S.KM., M.Kes, lahir 22 Juni 1974 di desa Luhu, Kecamatan Huamual, Kabupaten Seram Bagian Barat. Memulai pendidikan dasar (SD), SMP dan SMA di Luhu. Menyelesaikan pendidikan Ahli Madya Keperawatan di Kota Ambon pada tahun 1996, dan melanjutkan studi Sarjana Kesehatan Masyarakat di Universitas Airlangga pada tahun 2003, kemudian melanjutkan studi Magister Kesehatan Masyarakat konsentrasi Epidemiologi Universitas Hassanudin Makassar pada tahun 2009, dan menyelesaikan studi Pendidikan Doktor di Universitas Airlangga tahun pada tahun 2017.

Riwayat pekerjaan:

1. Staf Seksi Pemberantasan Penyakit Bersumber Binatang (P2B2) Sub.Din P2M-PL Dinas Kesehatan Provinsi Maluku (1998-2003)
2. Staf Dosen Kesling Politeknik Kesehatan Ambon (2003-2006)
3. Kepala seksi pelayanan Kesehatan dasar Dinkes Kab. Seram Bagian Barat (2006-2009)
4. Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKes) Maluku Husada Periode (2009-2012)
5. Staf dosen Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKes) Maluku Husada (2009-sekarang)
6. Ketua Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKes) Maluku Husada Periode (2020-2024)

Pernah mengikuti diklat penjenjangan (PIM-IV) pada tahun 2007 di Kab. Seram Bagian Barat. Riwayat organisasi: Ketua Pengda PERSAKMI Prov. Maluku, Ketua cabang Perkumpulan Pemberantasan Penyakit Parasitik Indonesia (P4I). Pengelola jurnal Global Health Science (GHS), jurnal Suara FORIKES, dan AloHA International Journals.

PENGANTAR

K3 HIPERBARIK



Penyelaman telah dilakukan sejak zaman dahulu. Upaya manusia untuk dapat menyelam ke dalam air awalnya dilakukan dengan menahan napas tanpa bantuan alat apa pun, sehingga lama waktu berada di dalam sangat tergantung pada ketahanan napas. Pada kondisi ini adaptasi manusia terhadap lingkungan bawah air sangat terbatas. Seiring kemajuan zaman dan teknologi, manusia telah menciptakan berbagai peralatan selam seperti alat bantu pernapasan, pakaian selam, dan alat pendukung lainnya yang dipergunakan untuk beradaptasi dengan lingkungan penyelaman. Adanya alat dan teknologi merupakan langkah atau prosedur yang dilakukan untuk mencegah terjadinya perubahan fisiologis tubuh akibat berada di bawah air, terutama pada kedalaman yang tinggi. Adapun hal ini merupakan salah satu langkah untuk mencegah terjadinya komplikasi atau masalah kesehatan ketika berada dibawah air maupun setelah naik ke permukaan. Prosedur keselamatan yang meliputi alat maupun teknologi yang ada saat ini diharapkan dapat mencegah munculnya gangguan fisiologis tubuh secara komprehensif.

 **BINTANG**
SEMESTA MEDIA

Jl. Karang Sari, Gg. Nakula, Sleman, Yogyakarta 57773
Telepon: (0274) 4358369 WA: 0858 8334 2317
Email: redaksi@bintangpustaka@gmail.com
Website: bintangpustaka.com



ISBN 978-623-5472-94-2



9 786235 472942