

Fisiologi di Lingkungan dibawah Permukaan Laut 2021

DR.HANNA CAKRAWATI
LABORATORIUM FISILOGI
FK UMM



Pendahuluan

- ▶ Pada mulanya penyelaman dilakukan dengan menahan napas, tanpa bantuan alat. Untuk mempercepat mencapai dasar air, penyelam sering terjun dari satu ketinggian dengan memeluk batu sebagai pemberat. Setelah sampai pada kedalaman yang dituju batu tersebut dilepaskan dan mereka bergerak sesuai dengan kebutuhan untuk apa penyelaman itu
- ▶ Bila manusia turun ke dalam laut, tekanan dari sekelilingnya akan meningkat dengan sangat hebat.
- ▶ Untuk menjaga agar paru tidak kolaps udara yang diberikan harus bertekanan sangat tinggi agar paru tetap mengembang. Hal ini menyebabkan darah di dalam paru juga terpajan dengan tekanan gas alveolus yang sangat tinggi, keadaan ini disebut **hiperbarik**.
- ▶ HIPERBARIK dimaksudkan suatu lingkungan yg berada dlm udara bertekanan lebih dari 1 atmosfer
- ▶ Efek penting lain dari kedalaman ialah adanya kompresi gas sehingga volumenya semakin mengecil

- 
- ▶ Tekanan fisiologis utama yang terlibat dalam penyelaman:
 - ▶ Tekanan ambien yang tinggi,
 - ▶ Penurunan efek gravitasi,
 - ▶ Perubahan respirasi,
 - ▶ Hipotermia, dan
 - ▶ Gangguan sensorik.
 - ▶ Tingkat keparahan stres yang terlibat tergantung pada kedalamannya tercapai, lamanya penyelaman, dan apakah napas ditahan atau alat bantu pernapasan digunakan.

Cerita Tragis Para Nelayan Penyelam Kompresor

oleh Fathul Rakhman [Lombok] di 20 September 2018



Menyelam malam hari hingga puluhan meter dengan perlengkapan seadanya demi mencari teripang, lobster, dan ikan. Cacat seumur hidup sampai jiwa melayang adalah taruhan bagi penyelam tradisional ini. Korban banyak berjatuhan. Kemiskinan keluarga nelayan pun terus bertambah di desa pesisir Pantai Seriwe, Kecamatan Jerowaru, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat (NTB) ini.

Penyelam kompresor = Ujung selang tersambung dengan mesin pompa angin biasa

Permasalahan pada Nelayan Penyelam di Indonesia:

- ▶ Penyelaman yang standar aman adalah menggunakan SCUBA (**self-contained underwater breathing apparatus**), namun karena alasan ekonomi dan ketidaktahuan prosedur penyelaman yang aman, para nelayan menggunakan kompresor sebagai alternatif pengganti SCUBA, selanjutnya mereka disebut sebagai penyelam kompresor.
- ▶ Mesin kompresor mati mendadak atau kehabisan bahan bakar, seorang penjaga (operator) di atas perahu tidak punya pilihan selain harus segera menarik selang dan penyelamnya ke permukaan. Pada titik inilah sering terjadi kasus dekompresi dan kecelakaan penyelaman karena penyelam tidak punya kesempatan untuk melakukan decompression stop.
- ▶ Tidak adanya jam tangan atau alat penunjuk kedalaman yang merupakan syarat standar dalam penyelaman,
- ▶ Pelatihan yang kurang memadai tentang melakukan penyelaman yang sehat dan aman, antara lain bagaimana merencanakan penyelaman dan melakukan stop.

Hari beranjak senja. Langit merah memantulkan warna di Pantai Seriwe. Sunardi, memeriksa kembali tas yang disiapkan istrinya, Sainah. Bekal makan malam, rokok, sarung, pakaian ganti dipastikan sudah masuk dalam tas. Di tas lain, pria 36 tahun ini memeriksa **senter kedap air**, **kacamata selam**, **dakor** (alat selam yang digigit disambung tabung udara) dipastikan tak tertinggal.

Di pesisir sudah menunggu rekan yang lain. Hari itu, Agustus 2016, mereka akan berlayar ke perairan sekitar Gerupuk, Lombok Tengah. Ketua rombongan sudah menghitung, sesampai di Gerupuk, hari sudah malam. Penyelaman sudah bisa dilakukan.

Dalam rombongan lima orang itu, ada **dua penyelam**, **satu nakhoda**, dan **dua operator mesin kompresor**. Mereka berlayar dengan **harapan** mendapat banyak tangkapan.

Mesin kompresor, biasa dipakai di bengkel untuk mengisi angin roda mereka hidupkan. Mesin itu terhubung dengan selang sepanjang 60 meter. Di ujung selang, terpasang dakor yang digigit penyelam.

Setelah mendapat cukup tangkapan, Sunardi naik ke permukaan. Mengeluarkan kantong jaring berisi ikan, Sunardi istirahat sejenak menyeruput kopi. Setelah tenaga pulih, dia kembali turun. Dia ingin mencari ikan lebih besar. Harus lebih dalam, selang makin diulur hingga hampir habis. Sunardi **mempekirakan kedalaman malam itu kira-kira 30 meter lebih**. Ketika naik, Sunardi merasa **kaki kiri kesemutan**. **Baginya gejala biasa**.

Dia mulai menyelam ketika duduk di bangku sekolah dasar (SD). Beberapa kali dia merasakan kesemutan ketika menyelam ke Flores, Jawa Barat, perairan sekitar Madura, hingga Kalimantan.

Sunardi memang dikenal salah satu penyelam ulung. Banyak bos mengontraknya. Penghasilan sebagai penyelam tergantung tangkapan. Kalau banyak, semalam dia bisa membawa pulang Rp500.000-Rp1 juta. Sunardi mampu membangun rumah permanen.

Merasa kaki keram, Sunardi minta istirahat. Setelah merasa segar, Sunardi kembali turun. Subuh masih panjang, Sunardi mempekirakan kira-kira masih pukul 2.00 dini hari. **Kali ini Sunardi merasa sedikit sesak**. Dia memutuskan cepat naik ke permukaan. Dia merasa letih dan langsung berbaring.

Sunardi merasa kaki makin sakit. Kali ini kedua kaki. Sunardi tidur sebentar. Ketika bangun sebelum subuh, dia merasa kesulitan menggerakkan kaki. Sunardi pasrah. Dia berdoa tak terlalu parah.

Alat-alat dasar penyelaman
seperti : masker, snorkel, fin,
pemberat (weight belt), rompi apung
(BCD), regulator dan tabung.



Walaupun berjalan tidak normal seperti biasanya, Majmu masih bisa melaut. Dia kapok untuk menyelam menggunakan kompresor. Foto: Fathul Rakhman/ Mongabay Indonesia

Bagi orang-orang di kampung itu, kondisi Sunardi mereka sebut sebagai penyakit terkena "**aiq keram**". *Aiq keram* adalah kondisi air laut di mana di titik tertentu air terasa sangat dingin. Jika kena dengan air itu, nelayan mengalami keram, ada yang lumpuh, bahkan ada meninggal dunia begitu naik ke permukaan.

Pagi itu, Sunardi langsung dibawa ke rumah sakit di Mataram, kira-kira dua jam perjalanan dari kampung halamannya. **Dia masuk tabung hiperbarik**. Di dalam ruangan dengan tekanan oksigen tinggi itu memang alat terapi bagi penyelam yang mengalami **gejala akibat gelembung gas nitrogen** yang masuk ke jaringan darah ketika naik ke permukaan. Dengan terapi ini, bisa mengurangi efek nitrogen.

"Sekali berobat habis Rp500.000," katanya.

Terapi oksigen hiperbarik ini membuat Sunardi sedikit lebih segar. Meskipun begitu, kondisi kaki tak kunjung membaik. Makin lama, dia tak lagi bisa mengontrol kakinya. Bahkan sampai menjalar ke pinggang. Otot-otot lemas. Sunardi merasa seperti tak memiliki kaki. Sunardi makin stres ketika tiba-tiba dia melihat celananya penuh kotoran. Sunardi tak bisa lagi mengontrol anusnya. Kencing, buang air besar keluar dengan sendirinya.

"Seandainya *nginjak* paku juga tidak terasa sakit, *kayak* tidak punya kaki," katanya seraya memukul-mukul betisnya membuktikan bahwa kaki itu seperti mati. Tak sakit ketika dipukul keras.

Sunardi menghitung delapan kali pergi berobat ke rumah sakit. Hasil nihil. Dia juga mencoba pengobatan tradisional. Sama saja. Yang berubah justru kondisi rumah Sunardi : perabot berharga mulai lelang satu persatu. Bahkan perahu kecil yang biasa dipakai menangkap ikan turut dijual untuk biaya berobat.



Seorang nelayan panen rumput laut. Dalam lima tahun terakhir, jumlah petani rumput laut di Desa Seriwe Lombok Timur berkurang. Foto: Fathul Rokhman/ Mongabay Indonesia

Nelayan.. siapa yang memikirkan kesejahteraan mu?

**Perhatikan
Abstrak
penelitian
berikut ini:**

RINGKASAN

PERILAKU KESELAMATAN DAN KESEHATAN PENYELAMAN PADA PENYELAM TRADISIONAL BERBASIS *HEALTH ACTION PROCESS APPROACH*

Oleh: La Rakhmat Wabula

Salah satu komunitas penyelam ditemukan di Provinsi Maluku. Keahlian menyelam penyelam tradisional diperoleh secara turun temurun. Penyelam tradisional belum memperoleh pendidikan dan pelatihan formal terkait penyelaman. Aspek keselamatan dan kesehatan dari metode menyelam dan alat yang digunakan belum sesuai standar. Risiko cedera dan penyakit akibat penyelaman yang tidak standar meningkat lebih tinggi, meskipun sampai saat ini aspek kesehatan penyelam tradisional di Provinsi Maluku belum pernah di eksplorasi.

Berdasarkan data yang diperoleh oleh Dinas Kesehatan Provinsi Maluku tahun 2017, jumlah penderita dan kematian karena penyakit penyelaman di Provinsi Maluku selama empat tahun terakhir mengalami peningkatan terutama penyakit kelumpuhan yaitu dari 17 penderita pada tahun 2014 meningkat menjadi 27 penderita pada tahun 2017 dan kematian dari 6 meninggal pada tahun 2014 meningkat menjadi 7 kematian pada tahun 2017. Tingginya jumlah yang sakit dan meninggal akibat penyelaman kemungkinan disebabkan karena perilaku keselamatan dan kesehatan penyelam tradisional terhadap SOP penyelaman, antara lain: 1) menyusun rencana penyelaman; 2) memeriksa perlengkapan selam; 3) memeriksa dan memastikan keamanan lokasi penyelaman; 4) melaksanakan penyelaman sesuai rencana; dan 5) memperhatikan interval waktu antara penyelaman awal dan berikutnya. Namun beberapa penyelam compressor tidak mengetahuinya. Banyak penyelam tradisional tidak menggunakan metode keamanan menyelam, hanya menggunakan compressor tidak menggunakan peralatan *Self Contained Underwater Breathing Apparatus (SCUBA) diving*. Dari beberapa kasus, penyelam tradisional mengalami kelumpuhan akibat tidak memperhatikan prosedur penyelaman pada SOP penyelaman yang baik disertai peralatan menyelam yang tidak memadai.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi perilaku keselamatan dan kesehatan penyelaman pada penyelam tradisional berbasis *Health Action Process Approach* (HAPA) di Provinsi Maluku.

Metode penelitian menggunakan kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Subjek dari penelitian ini adalah nelayan penyelam tradisional yang berada di Kota Ambon, Kabupaten Seram Bagian Barat, dan Kabupaten Buru Provinsi Maluku dengan jumlah partisipan mencapai saturasi data (kejenuhan data), sebagai sampel penelitian dengan kriteria inklusi sampel sebagai berikut: 1) Subjek yang mengalami dekompresi (kelumpuhan) dan barotrauma telinga (perforasi membran timpani grade 1); 2) Subjek memiliki riwayat menyelam menggunakan compressor; 3) Subjek memiliki riwayat bekerja minimal 1 (satu) tahun; 4) Usia subjek minimal 25 tahun dan maksimal 64 tahun (usia angkatan kerja) (UU No 13 tahun 2013); dan 5) Subjek yang mampu berkomunikasi verbal dengan baik. Berdasarkan tingkat kejenuhan data, maka didapatkan jumlah subjek dalam penelitian ini adalah 15 nelayan penyelam tradisional yang mengalami kelumpuhan. Selain manusia sebagai instrumen penelitian, alat pengumpulan data lain yang menunjang proses penelitian adalah pedoman wawancara mendalam (*indepth interview*), catatan lapangan (*fields notes*), dan alat perekam. Tahap penelitian berupa wawancara akan dimulai pada 15 Januari – 15 Februari 2019. Analisis data menggunakan tematik *theory driven*.

Disimpulkan bahwa pada hasil analisis tematik menemukan 10 tema utama, meliputi: Persepsi risiko, harapan hasil, efikasi diri, intensi, dukungan keluarga, keyakinan, perencanaan, tindakan, trauma, dan pengobatan. Dalam penelitian ini peneliti membagi menjadi tiga fase, yaitu sebelum lumpuh, saat lumpuh, dan setelah lumpuh. Pada fase sebelum lumpuh, subjek memiliki perilaku keselamatan dan kesehatan yang maladaptif dengan kata lain tidak sesuai dengan SOP penyelaman dan teori. Pada fase saat lumpuh, subjek mengalami trauma yang mendalam untuk menyelam lagi dimana dari 15 subjek hanya 1 orang yang akan tetap melakukan penyelaman dikarenakan tidak ada mata pencaharian lagi yang menjanjikan selain itu menyelam juga sudah menjadi mata pencaharian secara turun temurun. Sedangkan 14 subjek lainnya mengaku trauma dikarenakan kelumpuhan yang dialaminya dan tidak mau menyelam lagi. Pada fase setelah lumpuh subjek mengalami perubahan pola pikir ataupun merubah perilaku keselamatan dan kesehatan penyelaman menjadi adaptif. Adapun dari 15 subjek, diantaranya hanya 2 orang yang pernah menjalani *hyperbaric oxygen therapy* (HBOT) sesuai dengan yang dikemukakan oleh teori, tetapi dikarenakan terkendala dengan biaya pengobatan yang mahal dan transportasi, maka subjek beralih ke pengobatan tradisional.



Snorkeling adalah penggunaan masker dan tabung pernapasan, atau snorkel, untuk berenang di permukaan air. Para perenang snorkel tidak turun jauh ke dalam air, tetapi tetap berada di puncak untuk melihat pemandangan dasar laut yang luas (kedalaman hanya hingga 5 m)

Scuba diving adalah penggunaan alat bantu pernapasan bawah air, singkatan SCUBA, untuk menyelam jauh ke dalam air. Dengan bantuan scuba, penyelam dapat bernapas dengan mudah saat mereka menjelajahi apa yang ada jauh di bawah permukaan laut.



nana_abe.0825
1,313 followers

[View profile](#)



Contoh Free Diving

ICELAND'S SILFRA FISSURE

SNORKELING VS SCUBA DIVING

SNORKELING



HOOD
+
GLOVES



DRY SUIT
+
UNDERSUIT



MASK
+
SNORKEL



FINS



SCUBA DIVING



HOOD
+
GLOVES



DRY SUIT
+
UNDERSUIT



MASK



FINS



SCUBA TANK
+
REGULATORS



WEIGHTS



BUOYANCY
COMPENSATOR
(BC)



Peralatan SCUBA terdiri dari :

1. Bouyancy Compesator Device (BCD)
2. System pemberat (weight belt)
3. Tabung SCUBA
4. Regulator
5. Gauge Instrument (Pressure, deep)



Scuba Diving Equipment List: Essential Items for Your Next Dive

PERLENGKAPAN SCUBA DIVING:

BOUYANCY COMPESATOR (BCD)

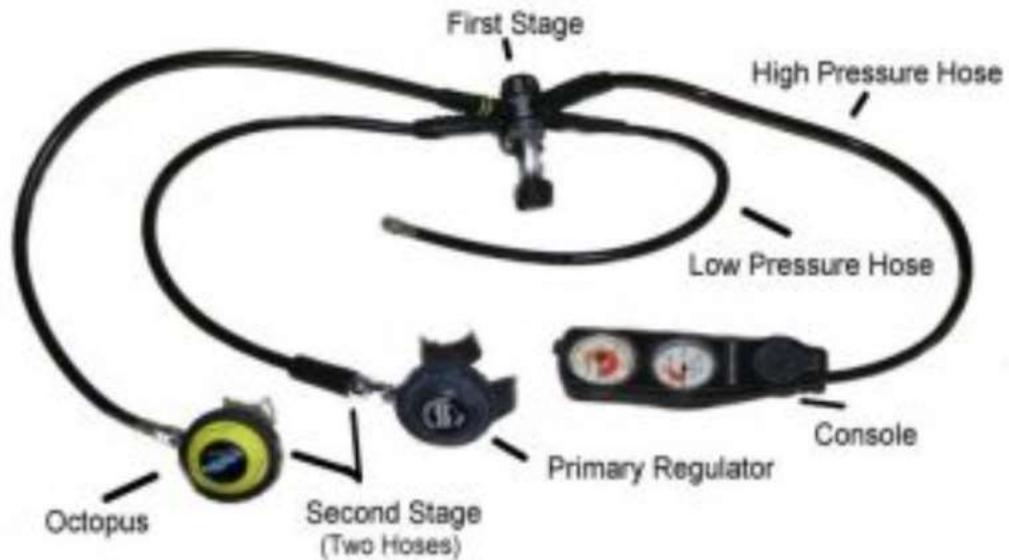
Saat melakukan penyelaman, tubuh yang sebelumnya memiliki daya apung netral menjadi negatif, maka dari itu fungsi dari BCD adalah mengatur udara yang masuk kedalam dan meningkatkan daya apung seseorang, begitu juga sebaliknya jika seorang penyelam ingin menyelam ke kedalaman, maka hanya perlu mengurangi udara yang masuk dengan cara mengeluarkannya.



(sumber: google.com)

Bouyancy Compesator Device (BCD)

REGULATOR



(sumber: google.com)



(sumber: google.com)

Regulator SCUBA adalah perangkat penyalur aliran udara yang dapat merubah udara bertekanan tinggi yang ada di tebung selam menjadi udara bertekanan sesuai dengan kebutuhan penyelam.

SCUBA TANK

- ▶ Perangkat SCUBA akan menghasilkan mobilitas yang tinggi, namun mempunyai keterbatasan waktu tergantung dengan jumlah udara yang dimasukkan kedalam tabung SCUBA.
- ▶ Umumnya tabung SCUBA terbuat dari bahan baja dan aluminium Alloys.
- ▶ Volume dan tekanan dari tabung SCUBA terdiri dari berbagai ukuran anatara lain dengan volume 50, 71, 80, 100 cuft (cubic feet).



Tabung oksigen dengan berat sekitar 30 sampai 40 kilogram serta berbagai peralatan lain yang mencapai 10 kilogram.

Sabuk Pemberat (Weight Belt)

Sabuk pemberat pembuat daya apung menurun, sehingga penyelam dapat mempertahankan posisinya menyelam.



(sumber: google.com)

Diving Mask

Mata manusia tidak dirancang untuk bekerja dengan baik di bawah air—khususnya air asin.

Pandangan di dalam air tidak sebaik serta setajam saat di permukaan, hal ini menjadikan salah satu faktor kecelakaan saat menyelam



DRY SUIT or WET SUIT

Meskipun bepergian dengan drysuit atau wetsuit sedikit merepotkan karena beratnya, sangat penting untuk melindungi kulit dan membuat tubuh tetap hangat.

Biasanya terbuat dari karet neoprene, yang berfungsi sebagai bantalan dengan mengunci lapisan tipis air di samping kulit.



FINS (Sepatu Katak)

komponen penting lainnya dari peralatan menyelam.

Memberi kendali atas gerakan penyelam dan memungkinkan untuk mendorong diri sendiri melalui air dengan kecepatan dan kelincahan.



Satuan tekanan

- ▶ **Tekanan udara dipermukaan laut** pada suhu 0 C pada dasarnya adalah tekanan yang disebabkan oleh berat atmosfer di atasnya. Tekanan ini konstan yaitu sekitar **760 mm Hg** dan dijadikan dasar ukuran **satu atmosfer**.

Persamaan tekanan

1 Atmosfir = 10.07 (10) *meter air laut
= 33.05 (33) * kaki air Laut
= 33.93 (34) * kaki air tawar
= 1.033 kg/cm²
= 14.696 (14.7) * Lbs/ins²
= 1.013 bars
= 101 kilopascals
= 760 mm air raksa (mm Hg)
= 760 torr

- ▶ **Tekanan akan meningkat bila seorang menyelam dibawah permukaan air.** Hal ini disebabkan karena berat dari atmosfer dan berat dari air diatas penyelam.
- ▶ **Tekanan 760 mm Hg** akan terasa pengaruhnya kira-kira pada kedalaman **10 m** dari air laut (**33 kaki**).
- ▶ tekanan akan meningkat sebesar 760 mm Hg (1 atmosfer) untuk setiap kedalaman 10 m

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

Kedalaman (depth)	Tekanan Absolut	(Gauge Pressure)
Di permukaan	1 ATA	0 ATG
10 meter	2 ATA	1 ATG
20 meter	3 ATA	2 ATG
30 meter	4 ATA	3 ATG

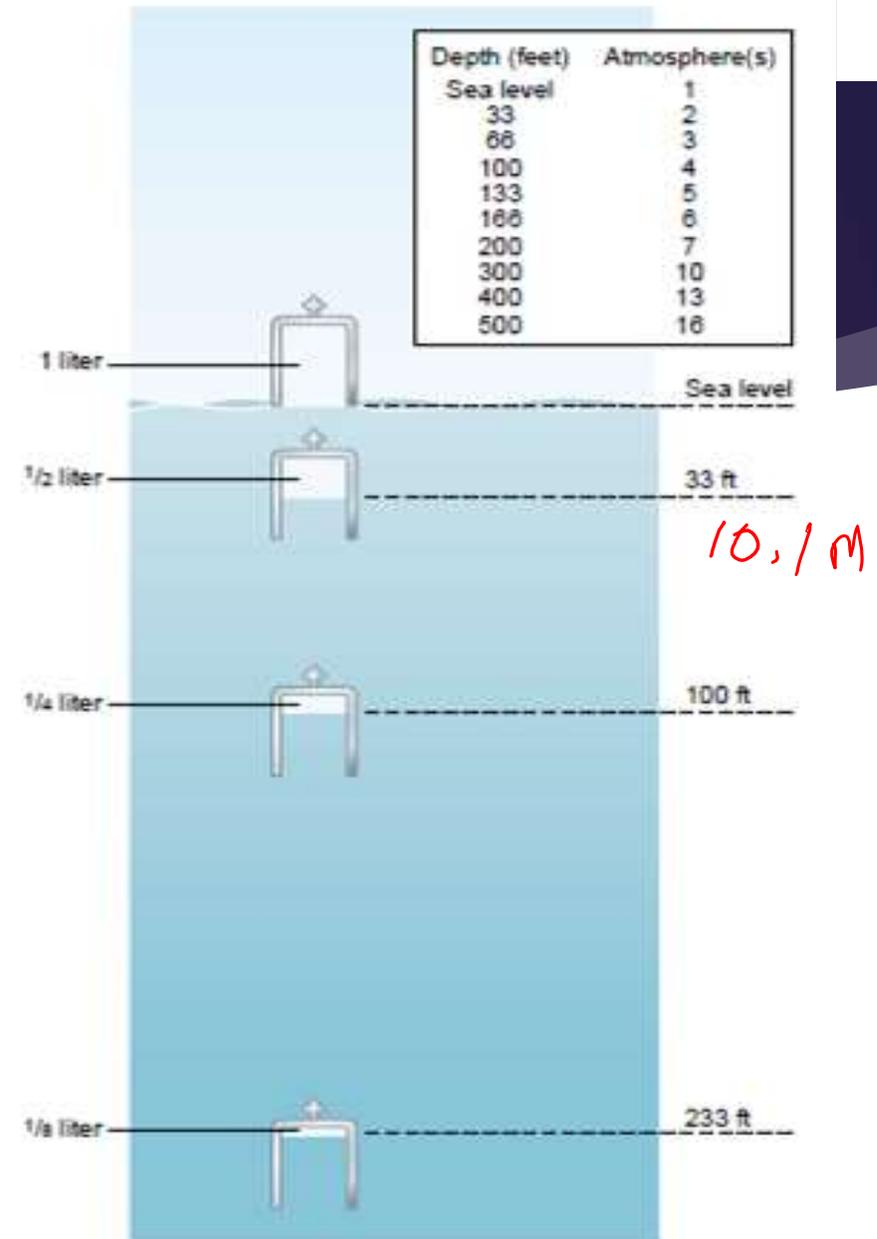


Figure 44-1

Effect of sea depth on pressure (top table) and on gas volume (bottom).

Hukum-hukum gas yang berlaku

Hukum-hukum gas yang berlaku terhadap gas-gas di dalam rongga-rongga tubuh seperti paru-paru, saluran yang menghubungkan hidung dengan sinus, ruang telinga tengah dan saluran cerna, dll., serta gas-gas di dalam larutan antara lain adalah :

▶ **Hukum Boyle (Hukum Perubahan Tekanan dan Volume)** Efek kedalaman laut terhadap volume gas

- ▶ bilamana tekanan meningkat, volume dari suatu kumpulan gas akan berkurang atau sebaliknya. Selama tekanan sebanding dengan kedalaman, maka volume akan menjadi setengah volume dari semula.
- ▶ Tekanan meningkat menyebabkan rongga udara dlm tubuh menjadi kolaps.



Permukaan
Tekanan 1 ATA
Jumlah volume paru-paru
6 liter.



kedalaman 10 m
Tekanan 2 ATA
Jumlah volume paru-paru
3 liter.



kedalaman 20 m
Tekanan 3 ATA
Jumlah volume paru-paru
2 liter.

Sea level
1 atmosphere
Air volume = 6 L

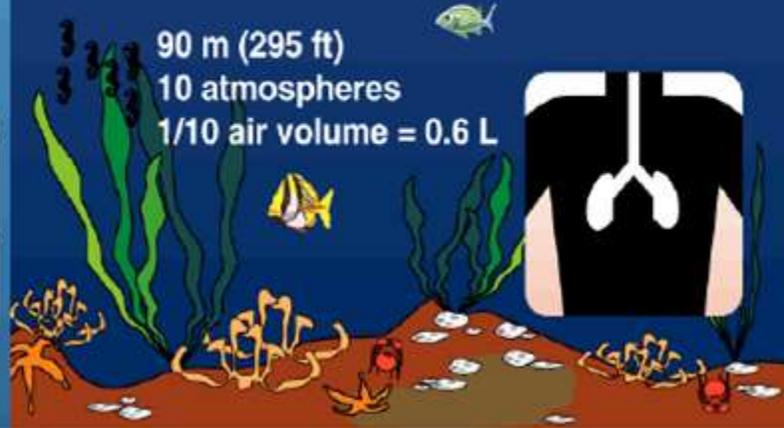
10 m (33 ft)
2 atmospheres
1/2 air volume = 3 L

20 m (66 ft)
3 atmospheres
1/3 air volume = 2 L

30 m (98 ft)
4 atmospheres
1/4 air volume = 1.5 L

40 m (131 ft)
5 atmospheres
1/5 air volume = 1.2 L

90 m (295 ft)
10 atmospheres
1/10 air volume = 0.6 L

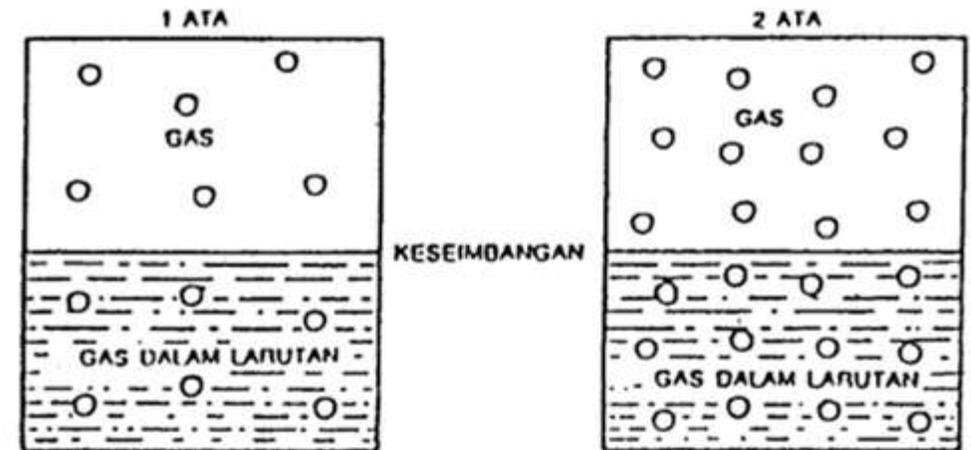


▶ **Telinga bagian tengah**

- ▶ tekanan air yang berperan di dalam tubuh akan dihantar 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 jaringan yang membengkak dan menonjol ke dalam gendang telinga □ fraktur membrane timpani
- ▶ Rangkaian kejadian yang menjurus ke kerusakan jaringan dapat dicegah dengan menyeimbangkan tekanan (Equalizing).

► **Hk. Henry (Larutan Gas dan Cairan)**

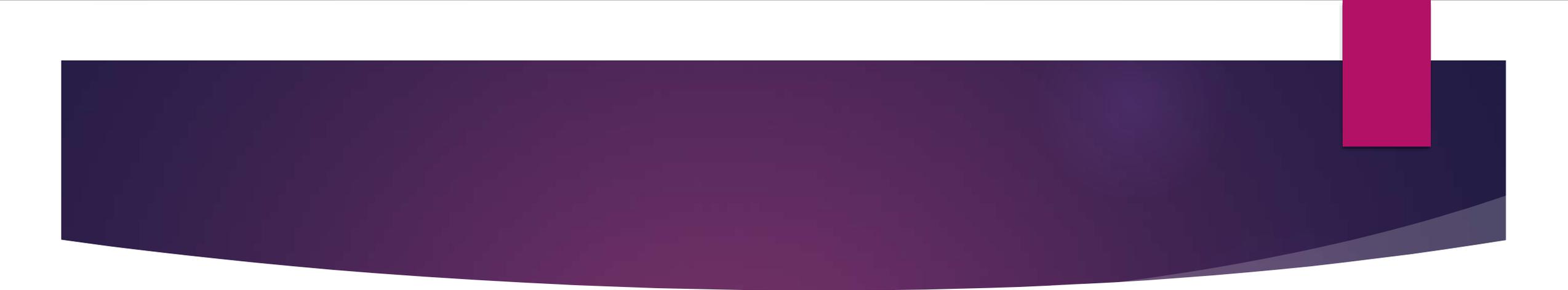
- Hal ini berhubungan dengan penyerapan gas didalam cairan. Dinyatakan bahwa pada suhu tertentu jumlah gas yang terlarut di dalam suatu cairan berbanding lurus dengan tekanan partial dari gas tersebut di atas cairan.
- Di permukaan laut (1 ATA) dalam tubuh manusia terdapat kira-kira 1 liter larutan Nitrogen. Apabila seorang penyelam turun sampai kedalaman 10 meter (2 ATA) tekanan partial dari Nitrogen yang dihirupnya menjadi 2 kali lipat dan akhirnya yang terlarut dalam jaringan juga menjadi 2 kali lipat (2 liter).



HUKUM HENRY

Bila keseimbangan (equilibrium) tercapai pada 2 ATA terlihat bahwa jumlah molekul yang terlarut adalah 2 kali lebih besar daripada jumlah yang terdapat pada 1 ATA

- ▶ Bilamana **tekanan** yang terdapat dalam larutan terlarut cepat **berkurang**, gas akan **keluar dari larutan** dalam bentuk gelembung-gelembung gas.
- ▶ Pada penyelam, pelepasan gelembung-gelembung ini dapat menyumbat pembuluh darah atau merusakkan jaringan-jaringan, hal ini menyebabkan berbagai pengaruh dari **penyakit dekompresi** atau “**Bends**”.
- ▶ Karbon dioxide di dalam larutan □ kita membuka botol bir dengan tiba-tiba, maka akan terlihat gelembung-gelembung gas yang naik ke permukaan botol.



▶ Daya Apung / Buoyancy

- ▶ Dengan paru-paru mengembang sepenuhnya, orang biasanya akan mengapung di atas permukaan air laut. Bila penyelam menghirup nafas volume di dada akan meningkat, yang cenderung membuatnya mengapung, sedang bila ia menghembuskan akan cenderung tenggelam.

▶ Suhu / Temperatur

- ▶ Hampir semua suhu perairan lebih dingin dari suhu badan yang normal (37°C)
- ▶ perubahan suhu terbesar terjadi setelah kira-kira 10 meter pertama. Air dingin dapat menyebabkan gangguan-gangguan fisiologis yang gawat seperti pusing/vertigo dan sakit kepala.

Efek Tingginya Tekanan Parsial Masing-Masing Gas Terhadap Tubuh

Terpajan gas: Nitrogen, Oksigen dan karbon dioksida.

▶ Narkosis Nitrogen pada Tekanan Nitrogen Tinggi

- ▶ Pada sea level, N tidak memberikan efek yg bermakna pada fungsi tubuh
- ▶ Pada tekanan tinggi menimbulkan narcosis dengan derajat bervariasi
- ▶ Keriangan akibat kedalaman (gejala mirip keracunan alcohol)

Penyelam pada kedalaman 120 kaki □ narcosis ringan (rasa riang dan kurang hati-hati)

150-200 □ rasa ngantuk

200-250 kaki □ penurunan kekuatan

250 > kaki □ hampir tidak bisa mengerjakan sesuatu

Mekanisme: nitrogen larut dalam substansi lemak di membrane saraf dan mengubah aliran ion yg melewati membrane □ menurunkan eksitabilitas saraf

▶ Keracunan Oksigen pada tekanan tinggi

- ▶ Efek PO₂ yang sangat tinggi terhadap pengangkutan oksigen darah
 - ▶ PO₂ alveolus 3000 mmHg terhadap volume oksigen larut dalam darah.
 - ▶ Hk.Henry

Perhatikan grafik pada PO₂ 120 mmHg □ hampir tdk ada oksigen yg terlarut

- ▶ Efek PO₂ Alveolus yang tinggi terhadap PO₂ jaringan
 - ▶ PO₂ pada tekanan 4 ATA 3000 mmHg
 - ▶ Perhatikan titik A (normal 100 mmHg) dan titik B (normal 40 mmHg)

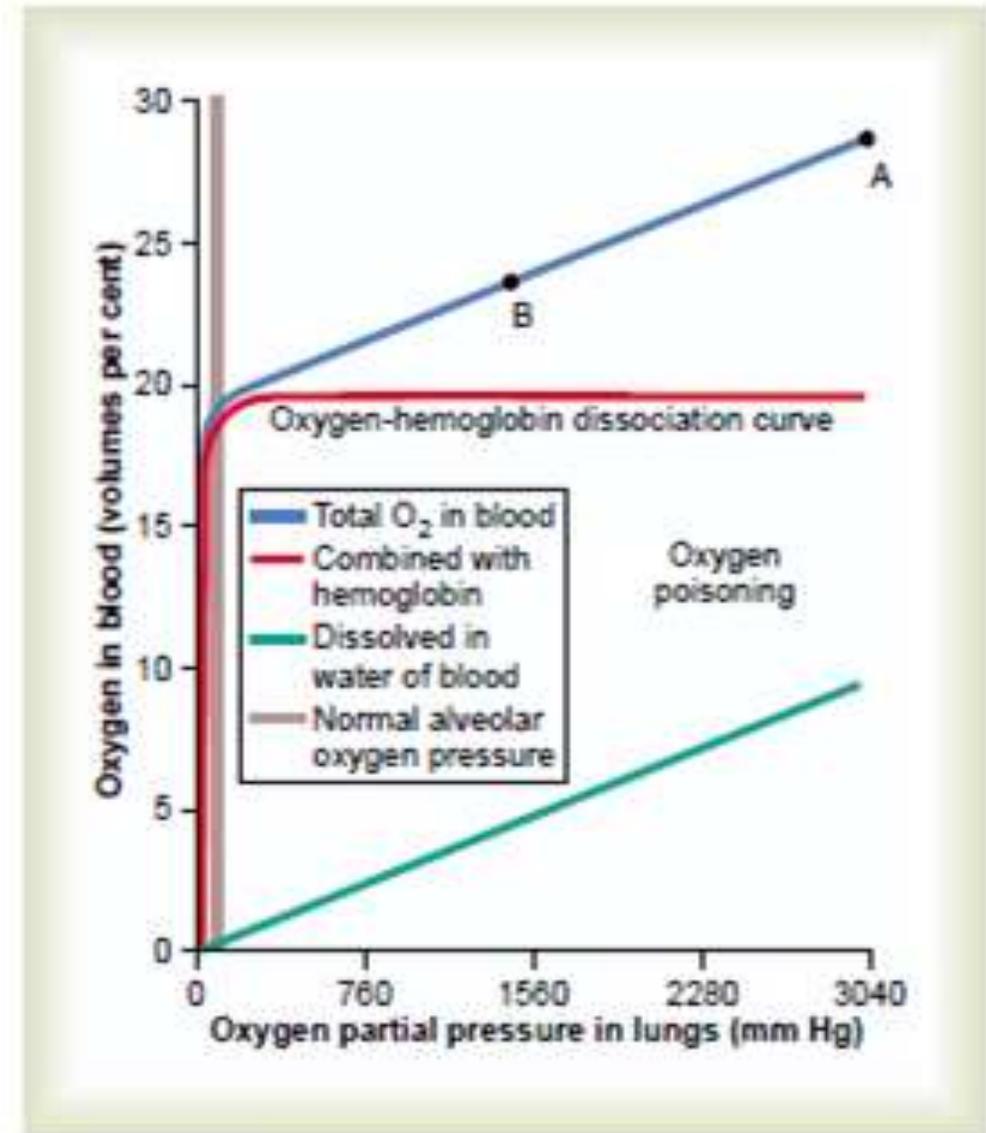


Figure 44-2

Quantity of oxygen dissolved in the fluid of the blood and in combination with hemoglobin at very high PO₂s.

▶ Keracunan oksigen

- ▶ Gangguan fungsi otak
- ▶ Menghirup oksigen 4 ATA ($PO_2=3.040$ mmHg) □ kejang otak (tanpa didahului tanda peringatan) yg diikuti koma setelah 30 menit hingga 60 menit.
- ▶ Gejala lain: keracunan akut: mual, kedutan pada otot, pusing, gangguan penglihatan, mudah tersinggung dan disorientasi.

Mekanisme:

- ▶ Oksidasi intrasel berlebihan sebagai penyebab keracunan oksigen pada system saraf □ radikal bebas pengoksidasi
 - ▶ Radikal bebas oksigen: superoksida O_2^- dan hydrogen peroksida
 - ▶ Radikal bebas oksigen terbentuk terus menerus dari molekul oksigen yg terlarut.
 - ▶ Antioksidan endogen dari enzim di jaringan ex: peroksidase, katalase, dan dismutase superoksida
- ▶ Selama mekanisme dapar Oksigen-hemoglobin mampu mempertahankan PO_2 jaringan (40 mmHg) □ radikal bebas dapat segera di eliminasi
 - ▶ Bila PO_2 di atas titik kritis 2 ATA □ system dapar Oksi-hemoglobin terganggu □ PO_2 jaringan tinggi □ merusak sel dan jaringan
- ▶ Mengoksidasi asam lemak tidak jenuh ganda (membrane sel), mengoksidasi enzim sel (kerusakan system metabolisme) dan pada jaringan saraf (kandungan lemak tinggi).

▶ **Dekompresi penyelam setelah terpajan tekanan tinggi berlebihan**

- ▶ Penyakit dekompresi □ gangguan dalam membuang nitrogen yang terakumulasi dlm tubuh
- ▶ PN2 alveolus dan kapiler jenuh
- ▶ PN2 jaringan=PN2 udara yg di hirup
- ▶ Nitrogen mudah larut dalam lemak dan membutuhkan waktu lbh lama untuk dapat hilang.

Volume nitrogen yg larut dalam cairan tubuh di berbagai kedalaman

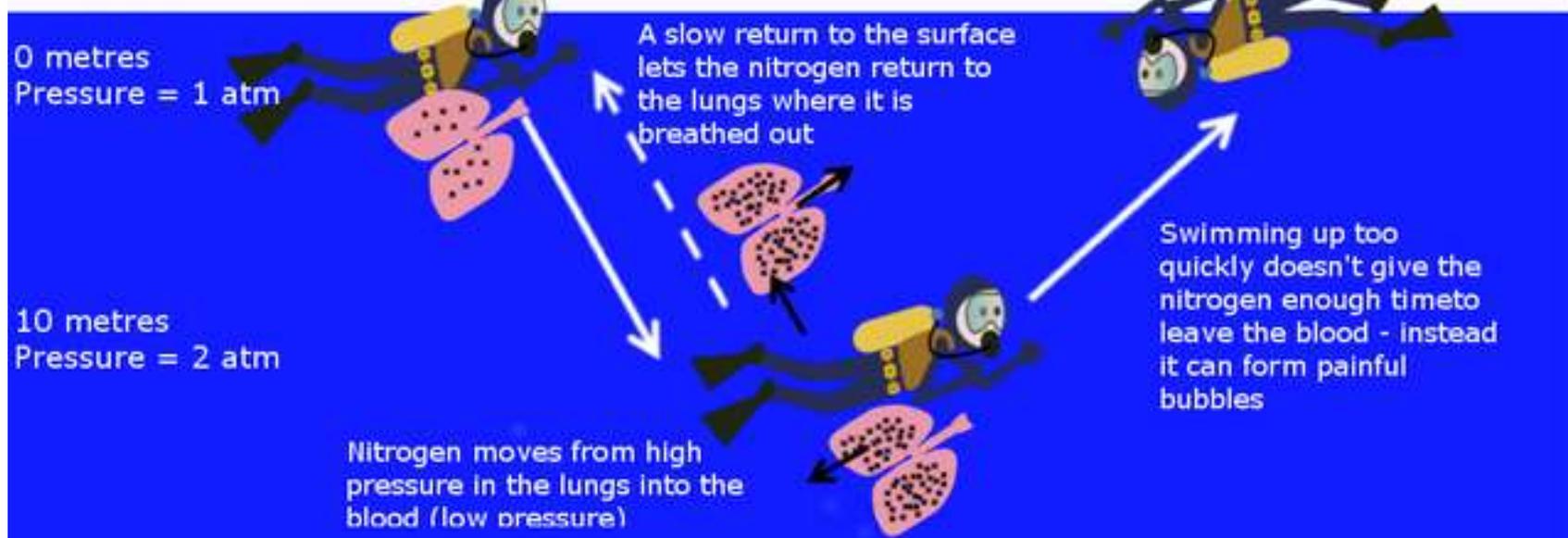
Feet	Liters
0	1
33	2
100	4
200	7
300	10

Penyakit Dekompresi (Bends)

- ▶ Penyakit dekompresi (PD) adalah suatu penyakit / kelainan yg disebabkan oleh pelepasan & pengembangan gelembung-gelembung gas dari fase larut dalam darah / jaringan akibat penurunan tekanan sekitar.
- ▶ Berdasarkan berat ringannya gejala & untuk pengobatan :
 - PD Tipe I : (pain only bends)
 - Nyeri sendi (paling sering 85%-90%)
 - Bengkak kemerahan (sendi)
 - Gatal-gatal
 - PD Tipe II : (serious decompression sickness)
 - Gangguan SSP (5-10%) pusing, paralisis sampai hilang kesadaran
 - Gangguan telinga dalam
 - Gangguan jantung - paru (rasa tercekik, edem paru)

- **Penyakit dekompresi** adalah suatu penyakit yang disebabkan oleh pelepasan dan pengembangan gelembung-gelembung gas dari fase larut dalam darah atau jaringan akibat penurunan tekanan dengan cepat di sekitarnya. Faktor-faktor yang diduga meningkatkan dekompresi adalah kedalaman menyelam, lama menyelam, dan anemia.

The Bends



Tekanan permukaan = 1 atmosfer (atm)

- Menyelam □ tekanan parsial nitrogen meningkat, Nitrogen larut dlm darah & jaringan (Hukum Henry).
 - ▶ Saat naik ke permukaan scr bertahap, tekanan gas turun terjadi proses desaturasi. Tekanan parsial gas paru-paru rendah sehingga darah melepaskan gas ke paru-paru.
 - ▶ Bila dekompresi cepat □ gelembung gas dlm jaringan & darah tdk dapat keluar dgn cepat & teratur sehingga meninggalkan gas dlm darah & jaringan, karena tdk cukup waktu bg paru-paru utk mengeluarkan gas tsbt.

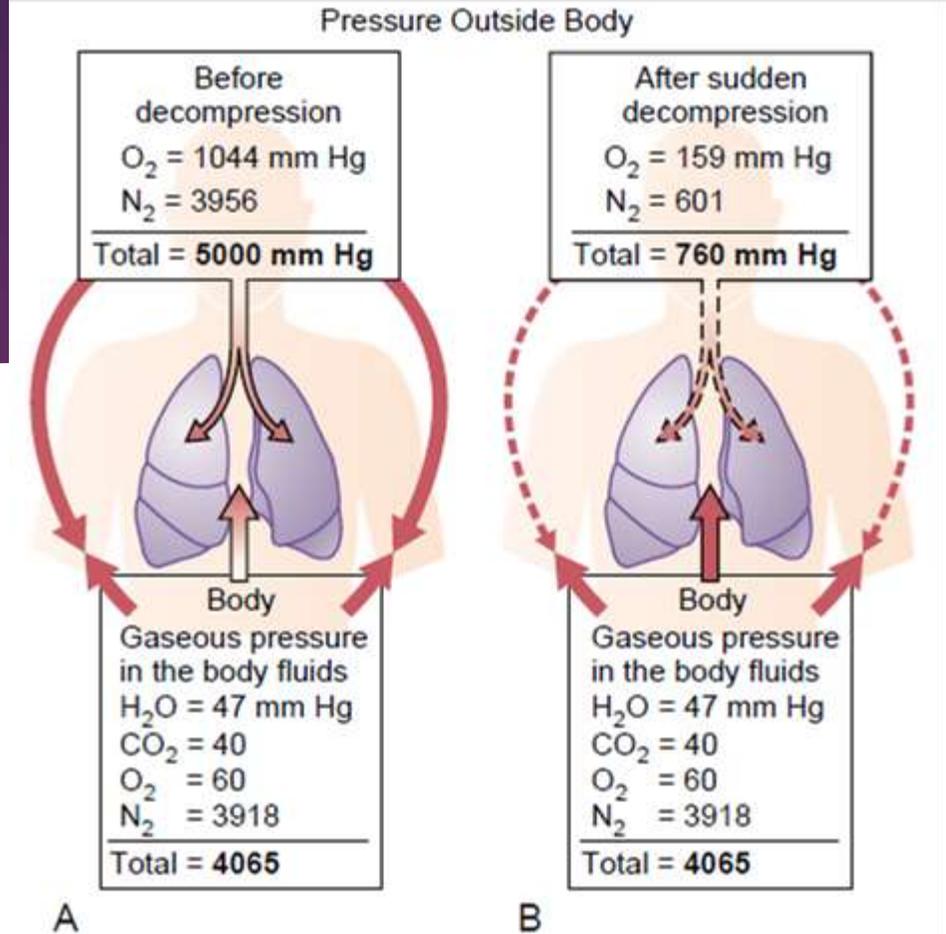


Figure 44-3

Gaseous pressures both inside and outside the body, showing (A) saturation of the body to high gas pressures when breathing air at a total pressure of 5000 mm Hg, and (B) the great excesses of intra-body pressures that are responsible for bubble formation in the tissues when the lung intra-alveolar pressure body is suddenly returned from 5000 mm Hg to normal pressure of 760 mm Hg.

Saturasi nitrogen thdp jar. berbeda-beda :

- Lemak 5 kali lebih besar dari air
- Juga otak dan darah supersaturasinya cepat, disebut jaringan cepat
- Tulang rawan & sendi supersaturasinya lambat, disebut jaringan lambat

Emboli gas adalah gelembung gas yang berjalan di pembuluh darah, dan bila mencapai pembuluh darah kecil akan menyumbat pembuluh darah.

Gelembung-gelembung gas dpt ditemukan pada :

- Intravaskuler
 - Ekstravaskuler
 - Intraseluler
- Penyumbatan pembuluh darah pada otak berakibat stroke,
 - pada jantung berakibat penyakit jantung coroner
 - pada ginjal menjadi gagal ginjal akut
 - pada paru menjadi gagal napas

Pembuangan Nitrogen dari tubuh

Decompression tables have been prepared by the U.S. Navy that detail procedures for safe decompression. To give the student an idea of the decompression process, a diver who has been breathing air and has been on the sea bottom for 60 minutes at a depth of 190 feet is decompressed according to the following schedule:

- 10 minutes at 50 feet depth
- 17 minutes at 40 feet depth
- 19 minutes at 30 feet depth
- 50 minutes at 20 feet depth
- 84 minutes at 10 feet depth

Thus, for a work period on the bottom of only 1 hour, the total time for decompression is about 3 hours.

PADI DIVE TABLE

Tabel waktu yang sudah standar (US Army Dive Table dan PADI Dive Table), berapa lama waktu penyelaman, berapa waktu untuk safety stop dan berapa lama waktu istirahat sebelum penyelaman berikutnya, semua harus terukur.

RECREATIONAL DIVE PLANNER™
DIVING SCIENCE & TECHNOLOGY, CORP. TABLE 2
SURFACE INTERVAL
CREDIT TABLE

Oxygen p.p. (sta)	0.76	0.80	0.85	0.90	1.00	1.10	1.19	1.29	1.39	1.48	1.58												
DEPTH (feet)	45	50	55	60	70	80	90	100	110	120	130												
A	10	9	8	7	6	5	5	4	4	3	3												
B	20	17	15	14	11	10	8	7	7	6	6												
C	26	23	20	18	15	13	11	10	9	8	7												
D	30	26	23	20	17	14	13	11	10	9	8												
E	34	29	26	23	19	16	14	12	11	10	9												
F	37	32	28	25	21	18	15	14	12	11	10												
G	41	36	31	28	23	19	17	15	13	12	11												
H	46	39	34	30	25	21	18	16	14	13	12												
I	50	43	37	33	27	23	20	17	16	14	13												
J	55	47	41	36	29	25	21	19	17	15	14												
K	60	51	44	39	32	27	23	20	18	16	15												
L	65	55	47	42	34	28	24	22	19	17	16												
M	71	59	51	45	36	30	26	23	20	18	17												
N	77	64	55	48	39	32	28	24	22	19	18												
O	83	69	59	51	41	34	29	26	23	20	20												
P	90	74	63	55	44	36	31	27	24	21	24												
Q	98	80	67	58	46	38	33	29	25	25	25												
R	106	85	72	62	49	41	34	30	27	24	24												
S	115	92	77	66	52	43	35	31	27	24	24												
T	126	99	82	70	55	45	37	32	28	24	24												
U	138	106	87	74	58	47	39	34	30	26	26												
V	151	114	93	79	60	50	42	37	33	29	29												
W	167	123	99	84	65	54	46	41	37	33	33												
X	187	133	106	90	72	60	52	47	43	39	39												
Y	213	145	110	95	76	64	56	51	47	43	43												
Z	220	155	120	100	80	68	60	55	51	47	47												

TABLE 1
NO DECOMPRESSION LIMITS AND GROUP DESIGNATION TABLE

NO DECOMPRESSION LIMITS: 45
SAFETY STOP REQUIRED: 45
DEPTH SHOWN FOR CONTINGENCY PLANNING ONLY: 45

For planning dives with EANx 32 only by certified enriched air divers.

PADI
padi.com
DISTRIBUTED BY INTERNATIONAL PADI, INC.

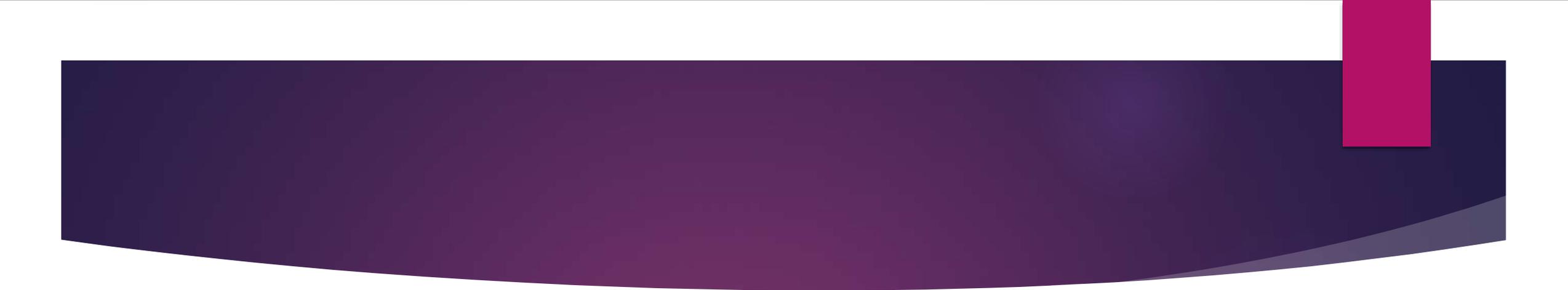
EANx32 ONLY

DO NOT USE TO PLAN AIR DIVES

CONTINUE ON OTHER SIDE

Hyperbaric Oxygen Therapy (HBOT)

- ▶ Terapi Oksigen Hiperbarik (HBOT) adalah suatu terapi dengan pemberian oksigen konsentrasi 100% dan tekanan lebih dari 1 atmosfer absolut (ATA), yang dilakukan di ruang udara bertekanan tinggi/ruang hiperbarik dengan tekanan lebih dari 1 atmosfer (Atm).
- ▶ Regimen HBO (hiperbarik oksigen) menggunakan tekanan 1,5 hingga 2,5 Atm untuk durasi 30 hingga 90 menit, yang dapat diulang beberapa kali.
- ▶ Tujuan terapi oksigen hiperbarik untuk perawatan dan pengobatan beberapa penyakit seperti emboli intravaskular, penyakit dekompresi, infeksi anaerob, keracunan CO (Shahriari, Khooshideh, & Heidari, 2014)

- 
- ▶ Terapi oksigen hiperbarik dapat memperkecil ukuran atau volume gelembung gas sehingga terhindar dari masalah penyumbatan pembuluh darah. Gelembung gas tersebut secara perlahan akan dimetabolisme atau dibuang dari tubuh melalui pernapasan (wash out