



Occupational Diving : Neurological Complications of Diving

Winda Trijyanthi Utama

Faculty of Medicine, University of Lampung

Abstract

Banyak pekerjaan yang dilakukan melalui kegiatan menyelam dengan tujuan penelitian, pencarian makanan laut, konstruksi, pemeliharaan alam, pembuatan film, militer, forensik dan penyelamatan, bahkan eksplorasi dan konstruksi ladang minyak lepas pantai juga dilakukan dengan proses menyelam. Artikel ini membahas tentang *Occupational diving* (penyelaman di tempat kerja) yang merupakan kegiatan menyelam yang dilakukan dalam pekerjaan untuk mendapatkan atau memberi imbalan (terlepas dari apakah menyelam merupakan fungsi utama pekerjaan atau hanya merupakan tambahan untuk itu). Terdapat 3 cara penyelaman yang dilakukan: *breath-hold diving*, *'bounce' diving with breathing apparatus*, dan *saturation diving*. Ketika terjadi trauma berat saat penyelaman maka biasanya sistem saraf seringkali ikut terlibat. Penyakit dekompresi, hipotermia, barotrauma, imersi edema pulmoner, dan emboli gas merupakan komplikasi medis yang sangat penting dari penyelaman. Penyusunan artikel ini menggunakan metode review dari jurnal-jurnal terutama yang berasal dari luar negeri yang mengenai penyelaman secara umum, penyelaman dalam pekerjaan, dan komplikasi neurologis yang dapat terjadi akibat penyelaman serta manajemen tatalaksana secara umum. Sebagai kesimpulan penyelaman merupakan suatu pekerjaan yang rentan mengalami faktor resiko di bidang neurologis. DCS merupakan komplikasi neurologis tersering yang bisa terjadi. Tatalaksana definitif yang bisa dilakukan untuk mengatasi keadaan ini adalah dengan rekompresi di dalam hyperbaric chamber. Namun secara umum, perlu adanya perhatian lebih kepada para pekerja terutama penyelam untuk menghindari faktor resiko yang dapat muncul terkait pekerjaan terutama komplikasi bidang neurologi.

Keywords: Occupational Diving, Neurological Complications, Penyakit Dekompresi, Hipotermia, Barotrauma, Imersi Edema Pulmoner, Emboli Gas, Hyperbaric Chamber, Review Article

Pendahuluan

Saat ini menyelam tidak hanya dijadikan sebagai sarana untuk rekreasi. Banyak pekerjaan yang dilakukan melalui kegiatan menyelam dengan tujuan penelitian, pencarian makanan laut, konstruksi, pemeliharaan alam, pembuatan film, militer, forensik dan penyelamatan, bahkan eksplorasi dan konstruksi ladang minyak lepas pantai juga dilakukan dengan proses menyelam¹. Menyelam menimbulkan efek fisiologis dan patofisiologis pada manusia melalui proses pencelupan dan paparan tekanan lingkungan yang tinggi¹.



Terdapat 3 cara penyelaman yang dilakukan: *breath-hold diving*, “*bounce*” *diving with breathing apparatus*, dan *saturation diving*. *Breath-hold diving*, “*bounce*” *diving with breathing apparatus* biasa digunakan untuk keperluan okupasi dan rekreasi, sementara karena biaya dan perawatannya yang tinggi, *saturation diving* lebih sering digunakan untuk pekerjaan dibidang industri minyak¹.

Dari ketiga cara penyelaman, *Breath-hold diving* merupakan cara penyelaman paling dasar dan menimbulkan resiko lebih tinggi dibanding cara penyelaman lain. Berdasarkan literatur, data dari *Divers Alert Network* (DAN) sejak tahun 1994 sampai 2003 serta pencarian melalui internet pada waktu yang sama, terdapat 131 kasus karena *Breath-hold diving*. Sembilan puluh delapan persen (98%) kasus kecelakaan fatal dengan 88 % adalah laki-laki².

Oleh karena itu penting disadari bahwa proses menyelam dapat menimbulkan berbagai komplikasi penyakit yang banyak terjadi dalam pekerjaan. Komplikasi neurologis merupakan salah satu komplikasi yang dapat terjadi melalui proses penyelaman.

1. Pengertian Occupational Diving

Occupational diving (penyelaman di tempat kerja) adalah kegiatan menyelam yang dilakukan dalam pekerjaan untuk mendapatkan atau memberi imbalan (terlepas dari apakah menyelam merupakan fungsi utama pekerjaan atau hanya merupakan tambahan untuk itu). Ini memiliki arti yang sama sebagai pekerjaan menyelam³.

Occupational diving (penyelaman di tempat kerja) juga dapat didefinisikan sebagai kegiatan menyelam dalam proses kerja (terlepas dari apakah menyelam adalah fungsi utama pekerjaan atau hanya tambahan untuk itu) dan terdiri dari semua pekerjaan selam yang dilakukan sebagai bagian dari bisnis; sebagai layanan; untuk penelitian; atau untuk keuntungan³.

Berbeda dengan *occupational diving*, ada istilah lain dalam kegiatan menyelam yaitu *recreational diving* (penyelaman rekreasi). Dimana *recreational diving* (penyelaman rekreasi) adalah kegiatan menyelam yang dilakukan oleh individu atau kelompok untuk kesenangan mereka sendiri dan tidak melibatkan kegiatan komersial untuk mendapatkan atau memberi imbalan dan bukan untuk bekerja³.

2. Pembagian Occupational Diving

Occupational diving memiliki beberapa pembagian yaitu³:

a. Construction Diving (Penyelaman Konstruksi)

Penyelaman konstruksi mencakup pekerjaan yang terjadi di bawah air sehubungan dengan perubahan, pembersihan, konstruksi, penghancuran, pembongkaran, pembangunan, pemasangan, perawatan, pemindahan, pembaharuan atau perbaikan bangunan, gedung atau dinding. Termasuk pekerjaan di kanal, pelabuhan, sistem drainase, pengendalian banjir, sistem

irigasi, pengendalian sungai, gorong-gorong, bendungan, pipa, waduk dan mencakup pekerjaan buoy, penyumbatan pada navigasi, rakit, kapal dan kecelakaan. Juga termasuk pemeriksaan atau pekerjaan lain yang dilakukan untuk memastikan apakah pekerjaan penyelaman konstruksi dilakukan. Polisi, Militer, Kepabeanan dan kelompok pencarian dan penyelamatan khusus dianggap sebagai bagian dari kategori ini karena sifat sangat berbahaya dari pekerjaan di bawah air ini dan sering terlibat dalam kegiatan penyelaman konstruksi.

b. Aquaculture Diving (Penyelaman Akuakultur)

Penyelaman akuakultur adalah pekerjaan selam yang dilakukan oleh mereka yang terlibat dalam peternakan ikan, kerang atau pertanian tanaman air. Penyelaman akuakultur dapat melibatkan perawatan rutin ringan, dan pekerjaan pembaharuan dan perbaikan yang terkait dengan peternakan laut.

c. Scientific Diving (Penyelaman Ilmiah)

Penyelaman ilmiah adalah pekerjaan selam yang dilakukan oleh ilmuwan atau orang-orang khusus lainnya yang telah menyelesaikan pelatihan penyelam ilmiah tertentu untuk mengumpulkan spesimen atau data untuk penggunaan ilmiah. Ini juga mencakup penyebaran, inspeksi, pembersihan atau pengambilan instrumen dan peralatan ilmiah di bawah naungan institusi konservasi, pendidikan atau penelitian.

d. Film and Photographic Diving (Penyelaman film dan fotografi)

Penyelaman film dan fotografi adalah pekerjaan selam yang dilakukan oleh staf produksi film, fotografer dan video, termasuk aktor.

e. Recreational Instructor/Tutor (Instruktur/Tutor Rekreasi)

Ini adalah instruksi dan pengawasan selam rekreasi yang diberikan oleh orang-orang yang memenuhi syarat oleh agen pelatihan penyelam rekreasi yang diakui dan bekerja dalam kapasitas tersebut. Ini termasuk instruktur, dive masters atau pengendali selam, atau orang dengan kualifikasi setara. Kategori penyelaman ini mencakup penyiapan lokasi penyelaman untuk memungkinkan pengajaran rekreasi berlangsung.

f. Tourism Diving (Penyelaman Wisata)

Penyelaman wisata adalah kegiatan menyelam yang dilakukan oleh orang-orang yang terlibat dalam penyelaman dan kegiatan wisata bawah air. Ini juga termasuk orang-orang yang pekerjaannya dilakukan di dalam batasan kolam atau akuarium.

3. Fisiologi dan Patofisiologi Umum Penyelaman

Sebagian besar proses fisiologis yang terjadi saat penyelaman berhubungan dengan hukum fisika perendaman dan tekanan karena kedalaman yang meningkat. Proses perendaman menyebabkan redistribusi sentral volume darah yang meningkat karena air dingin memicu vasokonstriksi. Hal ini menginduksi pelepasan hormon

antidiuretik (ADH) dan menghasilkan diuresis dan membuat tubuh penyelam relatif hipovolemik¹.

Selain itu, tabung pernafasan (breathing dry cylinder gas) dapat memperburuk defisit cairan, hal ini mengakibatkan penyelam mengalami dehidrasi sehingga meningkatkan kerentanan terhadap penyakit terkait menyelam. Tekanan ambien meningkat secara linear terhadap kedalaman air. Terdapat peningkatan sebesar 1 atm tambahan (1 bar atau 101 kPa) untuk masing-masing 10 m air laut (msw). Oleh karena itu, jika seorang penyelam menyelam dari permukaan laut sampai kedalaman 30 msw, maka kenaikan tekanan yang dialami sebesar empat kali lipat dari 101 kPa, yaitu 404 kPa¹.

Seorang penyelam mengalami variasi tekanan ambien yang jauh melebihi pendaki ataupun astronot. Perubahan tekanan ambien yang terjadi pada penyelam berefek terhadap perubahan gas. Tekanan parsial meningkat seiring dengan peningkatan komponen gas pernafasan pada penyelam yang meningkat secara proporsional dengan tekanan ambien total saat kedalaman meningkat (hukum Dalton). Paparan tekanan gas diatas normal akan menghasilkan jumlah gas yang larut dalam jaringan tubuh diatas normal pula (hukum Henry). Efek fisiologis yang dapat terjadi berupa kejang dalam kasus toksisitas oksigen atau gangguan fungsi serebral dengan narkosis nitrogen¹.

Saat kembali ke permukaan, pengurangan tekanan ambien yang tiba-tiba dapat menyebabkan saturasi gas berlebihan pada jaringan karena pembentukan gelembung gas. Kenaikan tekanan juga berdampak pada ruang jaringan yang terisi gas karena tekanan dan volumenya berbanding terbalik (hukum Boyle)¹.

Komplikasi neurologis terjadi karena peningkatan tekanan hiperbarik sehingga mempengaruhi sistem saraf. Komplikasi yang biasa terjadi diantaranya tremor pada tangan, ketidakstabilan postural, masalah gastrointestinal, mengantuk, dan disfungsi kognitif. Gejala dan tanda neurologis yang terjadi disebut sindrom neurologis tekanan tinggi (*High Pressure Neurological Syndrome/HPNS*)⁴.

Paparan lingkungan yang paling signifikan sehingga menimbulkan komplikasi saat menyelam adalah peningkatan tekanan ambien. Tekanan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman air (tabel 1). Efek dari peningkatan tekanan ini dikaitkan juga dengan kompresi dan perluasan gas menurut Hukum Boyle serta peningkatan kandungan gas inert dalam darah dan jaringan sesuai dengan hukum Henry⁵.

Tabel 1. Pengaruh Kedalaman terhadap Tekanan Ambien⁵

Air laut (feet)	Tekanan Absolut (atm)	Merkuri (mm)	Pounds per Square Inch
0	1	760	14.7
33	2	1520	29.4



66	3	2280	44.1
99	4	3040	58.8
132	5	3800	73.5

Terkait dengan neurologis, berdasarkan penelitian, terdapat peningkatan brain damage marker S100B sementara setelah apneu berkepanjangan (bisa pada *breath-hold diving*). Mekanisme nya belum bisa dijelaskan namun diduga dapat melibatkan kerusakan neuron dan pembukaan sementara sawar darah otak (*blood-brain barrier*). Puncak S100B terjadi dalam 10 menit pertama setelah apnea. Setelah kerusakan otak traumatis dan iskemia serebral, puncak pada S100B terjadi dalam jam pertama sampai 1-3 hari setelah kejadian. Namun untuk menyimpulkan bahwa cedera berat pada otak oleh karena penyelaman, masih harus dilakukan penelitian dan evaluasi lanjutan⁶.

Metode

Penyusunan artikel ini menggunakan metode review dari jurnal-jurnal terutama yang berasal dari luar negeri yang mengenai penyelaman secara umum, penyelaman dalam pekerjaan, dan komplikasi neurologis yang dapat terjadi akibat penyelaman serta manajemen tatalaksana secara umum.

Diskusi

1. Komplikasi Neurologis Penyelaman

Ketika terjadi trauma berat saat penyelaman maka biasanya sistem saraf seringkali ikut terlibat⁷. Penyakit dekompresi, hipotermia, barotrauma, imersi edema pulmoner, dan emboli gas merupakan komplikasi medis yang sangat penting dari penyelaman⁸

Otic barotrauma atau barotrauma pada telinga seringkali menyebabkan nyeri, vertigo dan penurunan pendengaran. Barotrauma pulmoner bisa menyebabkan pengendapan emboli gas arteri yang akan menyebabkan tersumbatnya pembuluh darah serebri dan gangguan kesadaran, kejang, dan defisit neurologis fokal. Pada pasien dengan gangguan dekompresi, sistem vestibular, medula spinalis dan otak akan dipengaruhi oleh gelembung nitrogen yang terbentuk. Tanda dan gejala umum yang sering terjadi meliputi vertigo, thoracic myelopathy dengan kelemahan tungkai, pusing, sakit kepala dan hemiparesis. Komplikasi neurologi lainnya yang terkait penyelaman meliputi sakit kepala dan toksisitas oksigen⁷.

Salah satu komplikasi penyelaman yang telah disebutkan adalah dekompresi. Penyakit dekompresi (DCS) biasanya timbul sekitar 30 menit pasca menyelam. DCS pada penyelam adalah sindrom klinis yang disebabkan oleh penurunan tekanan ambien. Seorang penyelam saat turun, terjadi peningkatan tekanan ambien yang menyebabkan



gas inert larut dalam jaringan. Pendakian ke atas dapat mengakibatkan pembebasan dan pembentukan gelembung gas inert ke dalam jaringan atau darah yang mengarah ke manifestasi klinis dari penyakit dekompresi, secara sederhana DCS didefinisikan sebagai suatu keadaan medis dimana akumulasi nitrogen yang terlarut setelah menyelam membentuk gelembung udara yang dapat menyumbat aliran darah serta system syaraf. Gejala DCS yang timbul bervariasi seperti parastesia, nyeri, pusing, kelemahan otot, fatigue, sakit kepala, gangguan koordinasi, otot bengkak, disorientasi, gangguan kesadaran, gangguan paru seperti wheezing dan nafas memendek, nistagmus, inkontinensia, gangguan pendengaran, bahkan kehilangan kesadaran yang bisa menyebabkan kematian⁹.

Tabel 2. Presentase Tanda dan Gejala pada Pasien dengan DCS^{10,11,12,13,14,15}

Tanda dan Gejala	Persentase
Baal	59
Nyeri	55
Vertigo	27
Kelelahan berat	25
Sakit kepala	24
Kelemahan otot	23
Mual	14
Gangguan gerak	12
Hipoestesia	10
Gangguan visual	8
Gatal-gatal	5

DCS pertama kali tercatat pada tahun 1841 saat penyelam laut dalam mulai mengalami ketidakmampuan untuk menekuk sendi mereka. Namun, kondisi tersebut belum sepenuhnya dipahami sampai tahun 1878, ketika Paul Bert dengan teorinya bahwa penyebabnya adalah pembentukan gelembung nitrogen di dalam tubuh. Dia juga menyatakan bahwa mungkin dapat menghindari efek berbahaya dengan cara naik ke permukaan secara bertahap⁹.

Di Inggris, ada hampir 300 kasus setiap tahunnya. Studi lain dari Inggris 1992-1996 menemukan bahwa insiden kecelakaan menyelam tahunan meningkat dari 4 per 100.000 menyelam menjadi 15,4 per 100.000 penyelaman selama masa itu. Saraf tulang belakang adalah tempat yang paling sering untuk tipe II DCS (Satu persen penyelam mengalami DCS)⁹.

Data dari DAN (the Divers Alert Network) United State pada tahun 1995, 590 kasus DCS dianalisa (dari total 1132). Dari jumlah tersebut, 27,3% adalah tipe I DCS dan 64,9% adalah tipe II (neurologic DCS). Sisanya 7,8% adalah kasus terkait usia. Sebuah studi dari militer AS di Okinawa melaporkan 94 kasus DCS selama 7 tahun.



Kejadian DCS adalah 13,4 per 100.000 penyelaman atau 1 per 7400 penyelaman per tahun¹⁶.

Risiko DCS di Polandia dari Polish Hyperbaric Research 2016, diperkirakan sekitar 5% kasus pada jumlah eksposur hiperbarik. Dalam kelompok ini 10% kasus berkaitan dengan sindrom neurologis¹⁷.

Di Jepang, *survey of neurological decompression illness pada commercial breath-hold divers (Ama) of Japan*, Dari 381 penyelam Ama, 173 menjawab (45%): 29 adalah penyelam Funado (dibantu dengan menggunakan beban/bobot) dan 144 penyelam Cachido (tanpa bantuan). Dua belas orang mengalami gejala *strokelike* selama atau setelah menyelam terus-menerus dan berulang¹⁸.

Dekompresi dibagi menjadi 2 tipe yakni tipe 1 yang lebih ringan dan tipe 2 yang lebih berat. Berikut ini adalah tipe dekompresi yaitu⁸:

- a. Tipe 1 yang bermanifestasi pada musculoskeletal, kulit dan limfatik.
- b. Tipe 2 yang bermanifestasi pada kelainan neurologis, kardiorespirasi, dan audiovestibular.

Pada dekompresi tipe 2 terjadi gangguan neurologi seperti kelemahan atau paralisis, parastesi tungkai, gangguan penglihatan, disfungsi kandung kemih dan usus, serta vertigo. Target organ pada gangguan dekompresi ini adalah medula spinalis, biasanya setinggi thorakal. Segmen thorakal menjadi target utama terkait anatomi vaskular pada medula spinalis bagian ini. Serebral juga turut serta pada 30% kasus dekompresi tipe 2. Penyelam yang mengalami gangguan serebral akan mengeluh pusing, letargi, gangguan mental, sulit berkonsentrasi, gangguan visual dan disfagia. Gejala – gejala ini muncul dalam satu jam pasca muncul di permukaan namun bisa juga muncul agak lambat dalam beberapa jam. Gejala yang muncul lebih cepat mengindikasikan prognosis yang lebih buruk¹⁹.

Pada Penyakit dekompresi yang dapat bermanifestasi pada kelaianan neurologis, ditemukan berbagai macam manifestasi antara lain^{20, 21,22}:

a. *Loss of consciousness and loss of motor control*

Gejala kehilangan kesadaran dan kehilangan fungsi motoric pada penyelaman tahan nafas sebagai manifestasi penyakit dekompresi yang disebabkan oleh kondisi hipoksia. Bergantung pada beratnya hipoksia yang dialami, gejala dapat timbul mulai dari pusing, penurunan keseimbangan saat berdiri, spasme otot, pandangan kosong, dan gangguan bicara.

b. *Taravana syndrome divers*

Penyakit ini sering ditemukan sebagai salah satu manifestasi dari penyakit dekompresi yang biasa menyerang penyelaman tahan nafas dengan kedalaman lebih dari 50 meter dan berulang. Gejala utama system saraf pusat yang timbul adalah mulai dari nyeri sendi sampai dengan paralisis. Gambaran MRI menunjukkan *brain disclofsed a cortical T1-weighted hipointensitas area*

terutama substansia alba subcortical temporal kiri gambaran menyerupai infark dan perdarahan parsial.

Terjadinya DCS pada penyelam dipengaruhi oleh banyak factor, antara lain kedalaman menyelam, waktu menahan nafas (breath-hold time), interval atau durasi menyelam, kuantitas dan frekuensi menyelam pertahun^{9, 18, 23}.

Gangguan kesehatan lainnya yang muncul akibat penyelaman adalah emboli gas arteri^{9, 24}.

Tabel 3. Presentase Tanda dan Gejala pada Pasien dengan Arterial Gas Embolism^{10,12,13,25,26}

Tanda dan Gejala	Persentas e
Stupor dan kebingungan	24
Koma tanpa kejang	22
Koma dengan kejang	18
Defisit motorik unilateral	14
Gangguan penglihatan	9
Vertigo	8
Defisit sensorik unilateral	8
Defisit motorik bilateral	8
Pingsan	4

Kondisi ini juga bisa menyebabkan komplikasi neurologis. Ketika alveoli ruptur, udara akan keluar menuju ruangan di sekitarnya. Emboli yang memasuki pembuluh darah serebral dapat menyebabkan keadaan menyerupai stroke (*stroke-like events*) yang terjadi dalam beberapa menit pasca muncul di permukaan. Pasien yang mengalami emboli gas arteri atau pulmonary over-inflation akan mengalami nyeri dan tekanan pada respirasi, batuk, hemoptisis, sakit kepala, penurunan kesadaran, kejang, hemiparesis, kuadriparesis dan *cortical blindness*. Angka kematian sangat tinggi dan terapi yang segera sangat penting¹⁹.

Kebanyakan penyelam yang berusia muda dan sehat secara fisik, jika diobati dengan baik maka idealnya akan pulih sepenuhnya dari penyakit terkait penyelaman. Namun hal ini akan berbeda jika pengobatan ditunda dalam jangka waktu yang lama, maka hasil pengobatan tidak akan baik dan akan menghasilkan gejala sisa seperti kekakuan (*spasticity*), *inkontinensia urine*, kelemahan otot dan juga parestesia perifer. Gejala sisa yang paling sering terjadi akibat emboli gas arteri adalah *short-term memory* dan gangguan konsentrasi⁸. Hal ini didukung adanya penelitian analisis multivariat yang menunjukkan bahwa penyelam memiliki tanda dan gejala gangguan neurologi yang lebih banyak daripada non penyelam dimana penyelama akan lebih sering mengeluh sulit berkonsentrasi dan mengalami masalah gangguan memori jangka pendek dan panjang. Gejala klinis abnormal yang paling menonjol adalah disfungsi radiks nervus

dan medula spinalis distal. Angka kejadian munculnya gejala abnormal lebih tinggi pada penyelam yang memiliki riwayat episode gangguan dekompresi sebelumnya¹⁹.

Tabel 4. Kelainan Klinis, Profil Penyelaman dan Pengobatan Komplikasi Neurologis Penyelaman^{10,11,12,13,14,15,26,27,28,29}

Kelainan	Gambaran klinis	Profil penyelaman	Terapi
Barotrauma telinga tengah saat turun	Nyeri akut, vertigo, kehilangan pendengaran, rupture/perdarahan membrane timpani	Saat turun menyelam, dapat saat naik	Memperbaiki tehnik menyesuaikan tekanan, dekongestan oral atau nasal, antibiotic pada otorrhea
Baroparesis fasial	Paralisis fasialis ipsilateral, membaik dalam beberapa jam Vertigo akut, mual, muntah, tinnitus,	Saat naik	Tidak ada
Barotrauma telinga dalam	kehilangan pendengaran sensorineural, kadang berhubungan dengan barotrauma telinga tengah	Saat turun, kadang saat naik	Evaluasi THT, tirah baring, elevasi kepala, pelunak feses, eksplorasi bedah jika gejala tetap.
Emboli gas arteri	Stupor, kebingungan, koma, kejang, kelemahan fokal, kehilangan penglihatan	Dalam 5 menit saat muncul di permukaan (>80%) atau saat naik; tidak bergantung pada paparan waktu – kedalaman.	Oksigen 100%, rekompresi sesuai algoritma US Navy, terapi simptomatik
DCS telinga dalam	Vertigo akut, mual, muntah, nistagmus, tinnitus, kehilangan pendengaran sensorineural	Dalam 30 – 60 menit saat muncul di permukaan (> 50%), dalam 6 jam (90%); bergantung pada paparan waktu-kedalaman	SDA
DCS serebral	Kebingungan, kelemahan fokal, fatigue, kehilangan penglihatan, diplopia, disfungsi bicara, gerakan abnormal, sakit kepala	SDA	SDA



DCS spinal	Paraestesia/gangguan sensorineural pada batang tubuh atas, dan/atau ekstremitas, kelemahan tungkai, kehilangan fungsi sfingter kandung kemih	SDA	SDA
Sakit kepala (emboli gas arterial atau DCS)	Sakit kepala berat menyeluruh berkaitan dengan gangguan kesadaran dan gejala lain	Biasanya muncul dalam beberapa menit saat naik, dapat menetap tanpa terapi rekompresi	SDA, analgetik
Sakit kepala (migraine)	Sakit kepala berat seperti dipukul, nyeri hebat, mual, muntah, fotofobia	Dipicu oleh kegiatan sebelum penyelaman atau saat di kedalaman	Hindari stimulus pemicu, menyelam secara konservatif, terapi profilaksis
Keracunan oksigen	Kejang fokal, penyempitan lapang pandang, mual, muntah, vertigo, parestesia, kejang umum	Timbul di kedalaman	Kurangi kedalaman dan paparan oksigen, terapi suportif, manajemen kejang; sesuai terapi emboli gas arteri

Pada competitive free diving dimana penyelam akan berusaha menahan napas selama lebih dari 10 menit dan berenang sejauh 250 meter atau menyelam dengan kedalaman 200 m maka akan berisiko mengalami “*shallow water blackout*” atau kehilangan kesadaran dan juga kehilangan kendali motorik, mengalami barotrauma pulmoner bahkan kematian. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Kjeld dkk, terhadap 17 *free divers* pada kejuaraan *Danish free diving*. Pada penelitian ini diketahui bahwa selama fase apnea statis, 9 penyelam mengalami kehilangan kendali motorik dan satu penyelam mengalami kehilangan kesadaran sedangkan 4 penyelam mengalami kehilangan kendali motorik dan 4 lainnya mengalami kehilangan kesadaran selama fase apnea dinamis³⁰.

Hal ini juga didukung oleh laporan kasus yang disampaikan oleh Mats. H Liner dan Johan P Anderson yang menyatakan bahwa *breath-hold-divers* yang mengalami pajanan berulang terhadap keadaan hipoksia berat akan berisiko mengalami efek buruk



jangka panjang. Sebagai contoh, hipoksia akibat *obstructive sleep apnea* akan menyebabkan perubahan neuropatologi dan juga gangguan neuropsikologi. Berdasarkan laporan kasus ini diketahui bahwa seorang penyelam pria berusia 23 tahun yang telah menjalani kompetisi *breath-hold diving* selama 1 tahun mengalami kehilangan kesadaran. Sampel darah pasien kemudian diambil lalu dilakukan analisis marker S100B dalam serum untuk menilai kerusakan otak. Dari analisis sampel ini diketahui terdapat peningkatan kadar S100B yang mengindikasikan dipengaruhi integritas sistem saraf pusat. Berdasarkan laporan kasus ini dan juga studi yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat risiko kerusakan otak pada *competitive breath-hold divers*³¹.

2. Komplikasi neurologis pada *Occupational Diving*

Pada aktivitas penyelaman okupasi, penyelam terekspos dengan hazard seperti gas inert (nitrogen) yang dapat meningkatkan risiko decompression sickness (DCS). Terdapat beberapa faktor risiko terjadinya insidens DCS, di antaranya penyelaman yang berulang-ulang, gagal dalam melakukan perhentian untuk dekompresi, naik ke permukaan secara cepat, peralatan penyelaman yang kurang mendapat pemeliharaan dan aktivitas bawah air yang memerlukan energi tinggi³². Selain itu, perkembangan berkelanjutan dari teknologi bawah air menciptakan lingkungan bawah air yang bising bagi penyelam, di antaranya alat kerja bawah air, aktivitas konstruksi bawah air, system sonar aktif skala besar dan bising mesin kapal³³. Pada eksperimen oleh Steevens et al, didapatkan kemungkinan bahwa gelombang suara bawah air memberikan stimulasi fisik langsung pada jaringan otak, dimana didapatkan pada objek penelitian efek yang ditimbulkan oleh gelombang suara dalam air menyerupai cedera kepala ringan, selain itu terdapat gejala sekuele neurologis yang konsisten dengan trauma kepala³³.

Pada beberapa pekerjaan spesifik seperti ilmuwan biologi laut tidak luput dalam potensi bahaya dalam pekerjaan penyelaman akibat penggunaan tehnik pencampuran gas, *re-breather* dan penyelaman dalam³⁴. Tehnik ini memungkinkan penyelaman dapat dilakukan lebih lama, namun meningkatkan resiko terjadinya keracunan oksigen dan kurangnya waktu dekompresi saat proses naik dari penyelaman. Peningkatan tekanan hiperbarik pada penyelam saturasi komersil terkait dengan pengaruh jangka panjang pada system saraf dengan gejala neurologis yang secara signifikan berkorelasi dengan penyelaman dalam dan prevalensi DCS³⁴.

Penelitian yang dilakukan terhadap penyelam Ama, penyelam tradisional Jepang yang menyelam dengan menahan napas untuk mengambil kerang, rumput laut dan lain-lain, didapatkan peningkatan resiko kerusakan otak yang terdeteksi melalui MRI yang dilakukan secara serial, bahkan tanpa didahului oleh insiden DCS neurologis³⁵.

Di Malaysia, tercatat pada tahun 1996 – 2000 komplikasi DCS 60% terjadi pada aktivitas penyelaman komersil (okupasi), dimana 83,9% di antaranya adalah penebang pohon dalam air, dibandingkan penyelam komersil lainnya.



Terapi definitif dari DCS adalah rekompresi di dalam *hyperbaric chamber* maka penting untuk setiap tempat kerja yang memiliki pekerjaan penyelaman untuk memiliki akses secepat mungkin ke fasilitas kesehatan yang memiliki *hyperbaric chamber*³².

Terdapat gejala sekuele neurologis setelah insiden DCS, seperti tercantum dalam tabel 4. Pada beberapa kasus hal ini menimbulkan kecacatan tetap yang menghalangi pekerja untuk dapat kembali pada pekerjaannya. Penting bagi perusahaan untuk mengusahakan jaminan kesehatan sosial dan pengaturan kompensasi bagi pekerja beresiko tinggi terutama yang melibatkan pekerjaan penyelaman, disamping komitmen tinggi untuk tetap mengusahakan pekerjaan dengan standar keselamatan tinggi sesuai yang ditetapkan oleh instansi pengawas setempat dan standar keamanan peralatan yang digunakan untuk bekerja harus selalu terjaga dengan baik³².

Simpulan

Penyelaman merupakan suatu pekerjaan yang rentan mengalami faktor resiko di bidang neurologis. Beberapa komplikasi neurologi terkait profesi penyelaman yang dapat terjadi antara lain dekompresi (DCS), hipotermia, barotrauma, imersi edema pulmonar dan emboli gas. DCS merupakan komplikasi neurologis tersering yang bisa terjadi. Tatalaksana definitif yang bisa dilakukan untuk mengatasi keadaan ini adalah dengan rekompresi di dalam *hyperbaric chamber*. Namun secara umum, perlu adanya perhatian lebih kepada para pekerja terutama penyelam untuk menghindari faktor resiko yang dapat muncul terkait pekerjaan terutama komplikasi bidang neurologi.

Daftar Pustaka

1. Levett D Z H and L Millar. 2008. Bubble trouble: a review of diving physiology and disease. London: group.bmj.com. Vol. 84: 571–578.
2. Pollock Neal W. 2006. Development of The Dan Breath-Hold Incident Database. USA: Breath-Hold Diving Workshop Proceedings.
3. Occupational Safety and Health Service. 2004. Guidelines for Occupational Diving 2004. Occupational Safety and Health Service Department of Labour. Wellington. New Zealand. [disitasi 2017 Juni 16]. Tersedia dari: <http://www.worksafe.govt.nz/worksafe/information-guidance/pdf-documents-library/diving-2004/diving-1008.pdf>
4. K Todnem, H Nyland, H Skeidsvoll, R Svihus, P Rinck, B K Kambestad, T Riise, J A Aarli. 1991. Neurological long term consequences of deep diving. British Journal of Industrial Medicine. Vol. 48: 258-266
5. Lynch James H and Alfred A. Bove. 2009. Diving Medicine: A Review of Current Evidence. J Am Board Fam Med. Vol. 22: 399–407
6. Andersson Johan PA, Mats H Linér and Henrik Jönsson. 2006. Increased Levels of The Brain Damage Marker S100b After Apneas in Competitive Breath-Hold Divers. USA: Breath-Hold Diving Workshop Proceedings



7. Herbert B. Newton. 2001. Neurologic Complications of Scuba Diving. *Am Fam Physician*;63:2211-8,2225-6
8. Rita Bast Peterson, Oivind Skare. 2015. A Twelve-year longitudinal study of neuropsychological function in non-saturation professional divers. *International Arch Occupational Environment Health* (2015) 88: 669-682
9. S Jallul, A Osman and W El-Masry. Case Report, Cerebro-spinal decompression sickness: report of two cases. UK. *Spinal Cord* (2007) 45, 116–120.
10. Jodi Hawes and E. Wayne Massey. 2009. Neurologic Injuries from Scuba Diving. *Neurologic Clinics*, volume 26, issue 1.
11. Herbert B. Newton, M.D. 2001. Neurologic Complications of Scuba Diving. *An American Family Physician*. Vol.63, No.11: 2211 – 2218.
12. Divers Alert Network. Report on decompression illness and diving fatalities: DAN's annual review of recreational scuba diving injuries and fatalities based on 1998 data. Durham, NC: Divers Alert Network, 2000.
13. Melamed Y, Shupak A, Bitterman H. Medical problems associated with underwater diving. *N Engl J Med* 1992;326:30-5.
14. Moon RE. Treatment of diving emergencies. *Crit Care Clin* 1999;15:429-56.
15. Dick AP, Massey EW. Neurologic presentation of decompression sickness and air embolism in sport divers. *Neurology* 1985;35:667-71.
16. Stephen A Pulley. Decompression Sickness. Medscape, Updated: Jul 12, 2016
17. Brunon Kierznikowicz, Władysław Wolański, Bogumił. Filipek. Polish Hyperbaric Research. *Jurnal Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society*. Poland. *PolHypRes* 2016 Vol. 55 Issue 2 pp. 61 – 66. ISSN: 1734-7009 ISSN: 2084-0535
18. Hideki Tamaki, Kiyotaka Kohshi, Tatsuya Ishitake, Robert M Wong, A survey of neurological decompression illness in commercial breath-hold divers (Ama) of Japan. *Neurological DCI IN Japanese Ama Divers*. *UHM* 2010, Vol. 37, No. 4
19. Neuman TS. Pulmonary barotrauma. In: Bove AA, ed. *Bove and Davis' Diving medicine*. 3d ed. Philadelphia: Saunders, 1997;13:176-83.
20. P Lindholm. 2006. Loss of Motor Control and/or Loss of Consciousness during Breath Hold Competitions. *Int J Sports Med* 2007; 28: 295–299.
21. Andrea Corteagani, et al. 2013. An Atypical Case of Taravana Syndrome in a Breath-Hold Underwater Fishing Champion: A Case Report. Hindawi Publishing Corporation. *Case report in Medicine*. Vol 2013.
22. GEMPP E, BLATTEAU J-E. Neurological disorders after repetitive breath-hold diving. *Aviat Space Environ Med* 2006; 77:971–3.
23. Dan McQueen BMed Sci, Gerry Kent PhD and Andrwe Murrison MB ChB. Self Reported long-term effects of diving and decompression illness in recreational SCUBA divers. *Br J Sp Med* 1994;28(2).
24. Kiyotaka Kohshi. 2001. Neurological Diving Accidents in Japanese Breath-Hold Divers: A Preliminary Report. *Journal of Occupational Health* 2001; 43:56-60.



25. Brylske A. The gas laws. A guide for the mathematically challenged. *Dive Training* 1997;September:26-34.
26. Farmer JC. Otological and paranasal sinus problems in diving. In: Bennett PB, Elliott DH, eds. *The physiology and medicine of diving*. 4th ed. London: Saunders, 1993;11:267-300.
27. T. Kjeld, T. Jattu1, dkk. 2014. Release of Erythropoietin and Neuron-Specific Enolase after Breath Holding in Competing Free Divers. *Scand J Med Sci Sports*.
28. Mats H. Linér and Johan P. A. Andersson. 2009. Hypoxic Syncope in a Competitive Breath-Hold Diver with Elevation of the Brain Damage Marker S100B. *Aviat Space Environ Med*; 80: 1066 – 8.
29. Clenney TL, Lassen LF. Recreational scuba diving injuries. *Am Fam Physician* 1996;53:1761-74.
30. Molvaer OI, Eidsvik S. Facial baroparesis: a review. *Undersea Biomed Res* 1987;14:277-95.
31. Greer HD, Massey EW. Neurologic injury from undersea diving. *Neurol Clin* 1992;10:1031-45.
32. Rozali A, et al. Decompression illness secondary to occupational diving: Recommended Management Based Current Legislation and Practice in Malaysia. *Med J Malaysia*, Vol. 64, No.2, June 2008.
33. Steevens CC, et al. Noise-induced neurologic disturbance in divers exposed to intense water-borne sound: two case reports, Naval submarine medical research laboratory, Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc, Florida, 1999
34. Courtenay G, et al. Occupational health issues in marine and freshwater research, *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2012, 7:4
35. Kohshi K, et al. Brain damage in Commercial Breath-Hold Divers, *PLoS ONE* 9(8): e10500, 2014