



TINJAUAN PUSTAKA

HUBUNGAN ANTARA PATENSI FORAMEN OVALE DENGAN KEJADIAN DECOMPRESSION SICKNESS: SEBUAH TINJAUAN SISTEMATIS

Ananda Rizkia,¹ Donna Diva Widyantari,² Nabila Indah Shofiyanti,³ Ni Pt Wr Pradnya Nirmala Putri,⁴
Arfi Syamsun⁵

ABSTRAK

Latar belakang: *Decompression sickness* (DCS) adalah suatu kondisi terbentuknya gelembung dalam darah dari gas terlarut (biasanya nitrogen) yang menyebabkan cedera jaringan dan pembuluh darah akibat dari penurunan tekanan lingkungan. kejadian DCS mencapai 1.042.618 per tahunnya. Salah satu faktor yang dapat meningkatkan kejadian DCS adalah adanya *patent foramen ovale* (PFO) pada penyelam.

Metode: Kajian literatur ini merupakan kajian *systematic review*, jenis artikel yang digunakan adalah artikel original yang diperoleh melalui database *pubmed* dan *proquest*. Pencarian artikel menggunakan kata kunci "*decompression sickness*", "*divers with patent foramen ovale*", "*divers without patent foramen ovale*", dan "*risk*". Setelah ditelusuri didapatkan total 303 artikel kemudian dipilih dengan memperhatikan kriteria eksklusi dan inklusi. Setelah disesuaikan dengan kriteria inklusi dan eksklusi jumlah akhir yang didapatkan sebanyak enam artikel.

Hasil: Kajian sistematis ini meninjau enam studi. Ditemukan bahwa *patent foramen ovale* (PFO) berhubungan secara signifikan terhadap risiko munculnya kejadian *decompression sickness* (DCS). Penutupan PFO mengurangi risiko kejadian DCS yang terkait dengan PFO sehingga penyelam dengan PFO yang telah mengalami DCS dan menjalani penutupan PFO, tidak perlu menghentikan penyelaman setelah intervensi.

Kesimpulan: PFO merupakan salah satu faktor risiko dari DCS. Penyelam dengan penutupan PFO atau penutupan shunt mengalami penurunan risiko mengalami DCS. Pada penyelam-penyelam tersebut DCS sebagian besar tidak terulang kembali (tidak rekuren), sehingga mereka dapat kembali ke penyelaman tanpa batas.

Kata kunci: *decompression sickness*, faktor risiko, patensi foramen ovale, penyelam

ABSTRACT

Background: *Decompression sickness* (DCS) is a condition where bubbles form in the blood from dissolved gasses (usually nitrogen) which cause tissue and blood vessel injury due to a decrease in environmental pressure. One of the factors that can increase the incidence of DCS is the presence of *patent foramen ovale* (PFO) in divers.

Method: This literature review is a study *systematic review*, the type used is the original article obtained through the database *PubMed* and *ProQuest*. We use the keywords "*decompression sickness*," "*divers with a patent foramen ovale*," "*divers without patent foramen ovale*," and "*risk*" to find the articles. After tracing, a total of 303 articles were obtained and then sorted by taking into account the exclusion and inclusion criteria so that the final number obtained was six articles.

Results: This *systematic review*, reviewed six studies. It was found that *patent foramen ovale* (PFO) was significantly associated with risk of *decompression sickness* (DCS). PFO closure reduces the risk of DCS events associated with PFO so that divers with PFO who have experienced DCS and undergo PFO closure, do not need to stop diving after intervention.

Conclusion: PFO is one of the risk factor of DCS. Divers with closed PFOs or closed shunts have a reduced risk of experiencing DCS. In these divers DCS is largely non-recurring, so they can return to dives indefinitely.

Keywords: *decompression sickness*, divers, *patent foramen ovale*, risk factor.

PENDAHULUAN

Decompression sickness (DCS) adalah suatu kondisi terbentuknya gelembung dalam darah dari gas terlarut (biasanya nitrogen) yang menyebabkan cedera jaringan dan pembuluh darah sebagai akibat dari saturasi berlebih setelah penurunan tekanan di lingkungan, kondisi ini merupakan penyakit

khas pada penyelam scuba dan terjadi selama fase penyelam naik ke permukaan.^[1,2] DCS diklasifikasikan menjadi dua, yaitu DCS tipe I dengan gejala yang hanya melibatkan kulit, sistem muskuloskeletal, atau sistem limfatik, dan DCS tipe II dengan gejala yang melibatkan sistem saraf pusat.^[3]

Angka kejadian DCS mencapai 1.042.618 per tahunnya.^[4] Insiden DCS pada

1,2,3,4 Mahasiswa Program Studi Pendidikan Dokter Fakultas Kedokteran Universitas Mataram, ⁵Staf Pengajar Program Studi Pendidikan Dokter Fakultas Kedokteran Universitas Mataram

pada penyelam scuba di Amerika Serikat adalah 1: 2.900 penyelam pada penyelam rekreasi, 1:280 pada penyelam komersial, 1:3.770 pada penyelam militer, 1:270 pada penyelam olahraga, dan 1:1.000 pada instruktur selam. Di Indonesia sendiri, jumlah nelayan penyelam yang menunjukkan gejala DCS sebesar 15,3%. Pada tahun 2006 di Pulau Bugin, NTB terdapat 57,5% nelayan penyelam yang menunjukkan gejala dekomresi, sedangkan di Kepulauan Seribu sebesar 6,91, dan di Karimunjawa sebesar 56,1%.^[5] Terdapat faktor risiko dari individu yang dapat menyebabkan terjadinya DCS pada penyelam yaitu jenis kelamin, usia, indeks massa tubuh (BMI), dehidrasi, cedera sebelumnya, suhu lingkungan yang dingin, dan *Patent foramen ovale* (PFO).^[3,6]

Patent foramen ovale (PFO) merupakan kondisi cacat umum dari septum interatrial dimana ditemukan adanya pembukaan antara atrium kanan dan atrium kiri.^[7] Pada kondisi normal, foramen ovale akan menutup segera setelah bayi lahir dan sekitar 75% orang penutupan foramen ovale selesai pada usia 2 tahun. Namun, pada 25% kasus terjadi kegagalan penutupan dan menjadi penyakit jantung bawaan yang paling umum. [8,9] Angka kejadian PFO pada populasi orang dewasa sebesar 15-35%. Dalam studi otopsi ditemukan prevalensi PFO sebesar 27%, sedangkan dalam studi ekokardiografi ditemukan sebesar 10-15%.^[8] Kegagalan penutupan foramen ovale dapat mengakibatkan terjadinya stroke kriptogenik, migrain, *syndrom platypronea-arthodeoxia*, dan *decompression sickness* pada penyelam.^[9]

PFO memiliki kaitan dengan DCS pada penyelam karena adanya embolisasi gelembung paradoks yang terbentuk selama proses naiknya penyelam ke permukaan. Pada penyelam dengan PFO, gelembung-gelembung udara ini dapat embolisasi ke dalam sirkulasi sistemik, masuk ke dalam kapiler perifer, dan menyebabkan injuri iskemik.^[10] Hal ini diakibatkan karena adanya shunt kanan-ke-kiri (RLS), sehingga emboli gas dapat masuk ke sirkulasi arteri dan meningkatkan risiko terjadinya DCS.^[11]

Dalam laporan sebelumnya dari registry DIVE-PFO (*Decompression Illness Prevention in Divers with a Patent Foramen Ovale*) mengatakan bahwa penutupan PFO berbasis kateter mampu mencegah DCS dalam tindak lanjut jangka panjang.^[10] Oleh karena itu, dalam analisis ini, kami membandingkan penyelam dengan PFO yang masih terbuka dengan penyelam yang melakukan penutupan PFO terhadap kejadian DCS. Adapun tujuan penulisan artikel ini adalah untuk mendeskripsikan hubungan PFO dengan kejadian DCS.

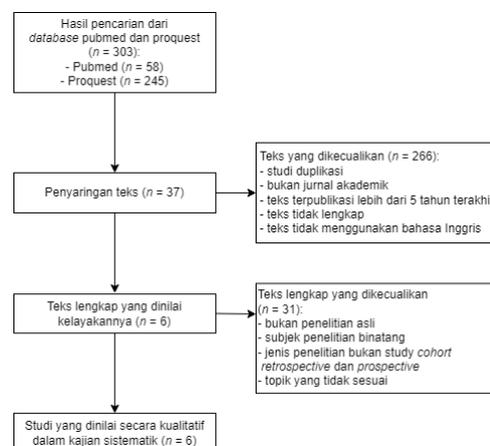
METODE

Strategi Pencarian

Kajian literatur ini merupakan kajian *systematic review*. Sumber data penelitian ini berasal dari artikel dengan jenis penelitian asli yang diperoleh melalui database *pubmed* dan *proquest*. Pencarian artikel dalam kajian ini menggunakan kata kunci "*decompression sickness*", "*divers with patent foramen ovale*", "*divers without patent foramen ovale*", dan "*risk*".

Kriteria Studi dan Hasil Pencarian

Studi yang ditemukan dari hasil pencarian disaring kembali dengan memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi yang kami gunakan adalah: artikel menggunakan teks bahasa Inggris, teks lengkap dan bisa diakses, merupakan artikel yang dipublikasi maksimal 5 tahun terakhir, artikel penelitian asli dengan jenis penelitian *cohort retrospective* dan studi *prospective*, dan subjek penelitian adalah manusia. Adapun kriteria eksklusi adalah variabel yang tidak sesuai dengan kriteria inklusi dan *keyword*. Setelah ditelusuri didapatkan 303 artikel. Dengan memilih artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, didapatkan hasil akhir sebanyak enam artikel. Adapun pertanyaan penelitian dalam penyusunan kajian ini mengarah pada lima elemen yang dikenal sebagai PICO, yakni *Population/patient*, *intervention*, *comparison*, dan *outcome*. PICO dalam pertanyaan penelitian ini meliputi, P = *decompression sickness*, I = *divers with patent foramen ovale*, C = *divers without patent foramen ovale*, dan O = *risk of having decompression sickness*. Pencarian data dilakukan dengan menentukan variabel yang diperlukan dan dimasukkan dalam bentuk tabel.



Gambar 1. Diagram Pencarian Sumber
Literatur

HASIL

Terdapat 303 artikel yang ditemukan dari database *pubmed* dan *proquest* yang di unggah 5 tahun terakhir dengan kata kunci pencarian "*decompression sickness*", "*divers with patent foramen ovale*", "*divers without*

patent foramen ovale", dan "*risk*". Setelah dilakukan *screening* berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi terdapat enam artikel yang memenuhi kriteria. Adapun keenam artikel tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Data Yang Diinklusi

Judul	Nama penulis	Sampel dan jumlah sampel	Perlakuan	Karakteristik populasi	Intervensi	Hasil penelitian
Increased risk of decompression sickness when diving with a right-to-left shunt: results of a prospective single-blinded observational study (the "carotid doppler" study)	Peter Germonpré, Pierre Lafère ¹ , William Portier ¹ , Faye-Lisa Germonpré, Alessandro Marroni, Costantino Balestra	Dari 445 penyelam yang direkrut, 148 (33,6%) penyelam yang merespon penelitian hingga akhir	Diberikan kuliah mengenai DCS pada PFO, dilakukan tes <i>carotid doppler</i> untuk skrining RLS dan diberikan kuesioner untuk mengetahui kejadian DCS yang dialami.	148 penyelam dengan 8,3% negative RLS dan 28,6% positif RLS	Diberikan pelatihan menyelam, kepada para penyelam dan dalam jangka 7-10 tahun penyelam dihubungi kembali untuk mengisi kuesioner mengenai kejadian DCS yang mungkin dialami.	Penyelam dengan RLS seperti PFO memiliki insiden 2,65 lebih tinggi mengalami DCS dibandingkan dengan penyelam tanpa RLS.
High-grade patent foramen ovale is a risk factor of unprovoked decompression sickness in recreational divers	Jakub Honek, Martin Šrámek, Ludek Šefc, Jaroslav Januška, Jirí Fiedler, Martin Horváth, Aleš Tomek, Štěpán Novotný, Tomáš Honek, Josef Veselka	489 penyelam rekreasi yang tergabung dalam klub selam Ceko	Pemeriksaan <i>transcranial color-coded sonography (TCCS)</i> untuk melihat ada atau tidaknya PFO dan pengisian kuesioner untuk penyelam yang memiliki riwayat DCS	489 penyelam rekreasi dengan riwayat DCS dan tidak ada riwayat DCS	Melakukan penyelaman dengan total penyelaman yang dilakukan sebanyak 169.411 kali.	Terdapat 36 (7%) pasien mengalami DCS tanpa provokasi dan 40% penyelam menderita PFO. Dari 36 pasien yang mengalami DCS tanpa provokasi, 97,2%nya mengalami PFO.
Persistent foramen ovale closure in divers with a history of decompression sickness	R. Koopsen, P. R. Stella, K. M. Thijs, R. Rienks	62 penyelam dengan decompression sickness, 1 penyelam lost to follow up, 1 penyelam berhenti menyelam, dan 35	wawancara	17 Penyelam dengan DCS dan PFO	Penutupan PFO dan tanpa penutupan PFO	Pada 17 penyelam dengan DCS dan PFO yang melanjutkan penyelaman tidak ditemukan kekambuhan decompression

		penyelam yang mengalami DCS dengan PFO				sickness mayor setelah penutupan PFO
Does persistent (patent) foramen ovale closure reduce the risk of recurrent decompression sickness in scuba divers?	Björn Edvinsson, Ulf Thilén, Niels Erik Nielsen, Christina Christersson, Mikael Dellborg, Peter Eriksson, Joanna Hlebowicz	13 penyelam melakukan penutupan PFO dengan riwayat DCS sebelumnya dan 4 penyelam memutuskan tidak berpartisipasi dalam wawancara telepon	Seleksi rekam medik dan wawancara melalui telepon	9 penyelam pengidap PFO dengan riwayat DCS dan terdapat 3 penyelam tidak melanjutkan penyelaman setelah penutupan PFO selama proses follow-up.	Penilaian pada pasien dengan riwayat DCS dan melakukan penutupan PFO	Terdapat 1 kejadian DCS setelah penutupan PFO, karena masih terdapat sisa shut setelah penutupan dan penyelam dengan riwayat DCS yang sudah melakukan penutupan PFO tidak perlu berhenti melakukan penyelaman setelah intervensi.
Screening and risk stratification strategy reduced decompression sickness occurrence in divers with patent foramen ovale	Jakub Honek, Martin Srámek, Tomáš Honek, Ales Tomek, Ludek Sefc, Jaroslav Januska, Jirí Fiedler, Martin Horváth, Stepán Novotný, Marek Brabec, Josef Veselka.	829 penyelam, dengan 4 penyelam meninggal, 2 penyelam menolak untuk dilakukan follow up, 42 penyelam berhenti menyelam, dan 79 penyelam <i>lost to follow up</i>	<i>Screening</i> PFO dengan menggunakan <i>transcranial color-coded sonography (TCCS)</i> , pengisian kuesioner untuk penyelam yang memiliki riwayat DCS	702 penyelam dengan riwayat DCS dan tidak ada riwayat DCS.	Penyelam tanpa PFO melakukan penyelaman tanpa batas, penyelam dengan PFO <i>grade 1</i> dan <i>2</i> melakukan penyelaman konservatif, dan PFO <i>grade 3</i> disarankan untuk melakukan penutupan PFO berbasis kateter	Penerapan strategi stratifikasi risiko menurunkan kejadian DCS dan penutupan PFO menurunkan kejadian DCS tersebut.
The effectiveness of risk mitigation interventions in divers with	George Anderson, Douglas Ebersole, Derek	77 penyelam, 15 penyelam dikeluarkan	Dikelompokkan menjadi kelompok konservatif (tanpa penutupan PFO)	62 Penyelam yang didiagnosis PFO dengan	Penyelaman dengan penutupan PFO	Terjadinya penurunan yang signifikan pada

persistent (patent) foramen ovale	Covington, Petar J Denoble		dan kelompok clouser (dengan penutupan PFO)	ada atau tidaknya riwayat DCS.	dan tanpa penutupan PFO.	pasien dengan penutupan PFO.
-----------------------------------	----------------------------	--	---	--------------------------------	--------------------------	------------------------------

Pada penelitian yang dilakukan oleh Germonpré, dkk (2021) melibatkan 148 penyelam dengan 8,3% negative RLS dan 28,6% positif RLS. Kondisi RLS pada pasien dievaluasi menggunakan tes *carotid doppler*. Setelah 7 -10 tahun penyelam dihubungi kembali untuk mengisi kuesioner mengenai kejadian DCS yang mungkin dialami. Ditemukan hasil bahwa penyelam dengan RLS memiliki insiden DCS lebih tinggi daripada penyelam tanpa RLS.^[12] Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Honěk, dkk pada tahun 2019 sebanyak 489 penyelam dilakukan skrining PFO pada Januari 2006 dan Januari 2014 dengan menggunakan *Doppler transkrani* dan dilakukan analisis mengenai faktor risiko DCS seperti usia, jenis kelamin, BMI, dan PFO. Setelah melakukan total 169.411 penyelaman, ditemukan 36 (7%) penyelam mengalami *unprovoked* DCS dengan 97,2%nya mengalami PFO.^[6]

Dalam penelitian Koopsen, dkk (2018) sebanyak 35 subjek masuk ke dalam inklusi karena mengalami Decompression sickness yang terkonfirmasi memiliki patent *foramen ovale/atrial septal defect* (PFO/ASD) dengan pemeriksaan ekokardiografi. Pada proses *follow up*, sebanyak 14 penyelam memutuskan untuk tidak menjalani penutupan *patent foramen ovale*. Penyelam yang memutuskan untuk melakukan penutupan sebanyak 21, salah satu diantaranya berhenti dalam mengikuti penelitian dan tiga diantaranya memutuskan untuk berhenti menyelam. Dari 17 peserta yang melanjutkan penyelaman, tidak ada satupun yang mengalami kekambuhan decompression sickness mayor setelah penutupan PFO. Sehingga, penyelam tersebut dapat kembali melakukan kegiatan penyelaman yang tak terbatas.^[13]

Pada penelitian oleh Edvinsson, dkk (2021), terdapat *penutupan patent foramen ovale* (PFO) tahun 1997 - 2017 akibat decompression sickness sebanyak 13 kasus. Empat pasien penutupan PFO memutuskan untuk tidak berpartisipasi dalam penelitian. Pada *follow up* satu tahun, enam pasien menunjukkan penutupan *shunt* total, sementara dua pasien masih memiliki sisa 1 - 10 gelembung pada *shunt*. Setelah *follow up* selama tujuh tahun, didapatkan hanya enam peserta yang masih melakukan penyelaman. sementara 2 diantaranya berhenti menyelam setelah prosedur penutupan. Dari laporan wawancara, didapatkan total kejadian *decompression sickness* (DCS) rata-rata sebelum penutupan *shunt* adalah sebanyak 17 kejadian. Setelah penutupan *shunt*, kejadian DCS hanya terjadi pada satu penyelam. Penyelam yang terkena dampak adalah satu-satunya wanita yang termasuk dalam penelitian ini. Dia adalah salah satu dari dua pasien yang memiliki sisa *shunt* satu

tahun setelah penutupan. Dia melakukan 300 penyelaman dengan udara terkompresi sebelum penutupan, dan telah menderita tiga peristiwa DCS. Dia mengalami DCS serius setelah penutupan PFO, tetapi berhasil diobati dengan oksigen hiperbarik dengan bantuan gejala lengkap. Penyelam kedua yang memiliki sisa *shunt* satu tahun setelah penutupan tidak menderita DCS dalam 125 penyelaman pasca penutupan.^[14]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Honěk, dkk pada tahun 2022 sebanyak 829 penyelam di skrining untuk mengetahui adanya PFO atau tidak. Pada penyelam dengan PFO *grade* 1 dan 2 disarankan melakukan penyelaman konservatif dan PFO *grade* 3 ditawarkan untuk melakukan penutupan PFO berbasis kateter. Dari 829 penyelam, terdapat 748 penyelam yang melanjutkan penyelaman dan ditemukan kejadian DCS menurun secara signifikan baik pada kelompok penyelam yang melakukan penutupan PFO maupun pada penyelam dengan penyelaman konservatif.^[10] Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Anderson, dkk pada tahun 2019, sebanyak 62 penyelam yang didiagnosis PFO kemudian dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok penyelam dengan penutupan PFO dan tanpa penutupan PFO. Ditemukan hasil bahwa pada kelompok dengan penutupan PFO terjadi penurunan kejadian DCS secara signifikan.^[15]

DISKUSI

Hubungan Patent Foramen Ovale (PFO) dengan Decompression Sickness (DCS)

Decompression sickness merupakan kondisi terbentuknya gas *in situ* dari gas inert yang larut di dalam intravaskuler maupun ekstrasvaskuler yang disebabkan oleh perubahan mendadak tekanan barometrik.^[16] Salah satu faktor yang dapat meningkatkan risiko DCS adalah PFO akibat adanya *left-to-right shunt*. PFO dapat mengakibatkan anastomosis intrapulmonal menyebabkan gelembung gas di sirkulasi vena dapat masuk ke sirkulasi arteri.^[16,17] Hal tersebut dapat dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Germonpré, dkk (2021) yang menemukan bahwa penyelam dengan RLS memiliki insiden DCS lebih tinggi daripada penyelam tanpa RLS.^[12]

DCS diawali dengan pembentukan dan peningkatan jumlah gelembung gas intravaskular dan ekstrasvaskular ketika tekanan gas yang terlarut (seperti oksigen, karbondioksida, nitrogen, dan helium) bersama dengan uap air melebihi tekanan absolut.^[16] Ketika seorang penyelam turun ke dalam air, terjadi peningkatan tekanan di sekelilingnya. Agar penyelam dapat

mengembangkan paru-parunya, gas pernapasan harus disuplai pada tekanan yang setara dengan tekanan air di sekitarnya.^[17]

Pada tekanan atmosfer, gas inert terlarut di dalam tubuh berada dalam keseimbangan dengan atmosfer. Ketika tekanan gas pernapasan penyelam meningkat dengan bertambahnya kedalaman penyelaman, tekanan parsial gas inert dalam campuran pernapasan juga meningkat. Hal ini menyebabkan terjadinya gradien tekanan positif antara gas inert di dalam paru-paru dan gas terlarut dalam darah dan jaringan tubuh. Molekul gas inert dalam paru-paru kemudian melewati *interface* alveolar-kapiler dan larut dalam tubuh sebagai fungsi dari tekanan parsial dan waktu. Dengan kata lain, semakin dalam seorang penyelam turun dan semakin lama dia berada di kedalaman, maka semakin banyak gas inert yang terlarut dalam darah dan jaringan.^[17]

Saat penyelam naik ke permukaan, tekanan gas inert di dalam paru-paru menurun dan tekanan gradien antara paru-paru dan tubuh menjadi seimbang. Ketika tekanan parsial gas inert terlarut dalam tubuh lebih tinggi dari tekanan parsial gas inert di paru-paru, jaringan menjadi jenuh. Molekul gas di dalam tubuh kemudian melewati membrane alveolar-kapiler ke dalam paru-paru dan dihembuskan. Kondisi inilah disebut sebagai dekompresi. Kondisi jenuh yang terjadi pada jaringan, dapat menyebabkan terbentuknya gelembung. Proses fisik terbentuknya gelembung ini sama seperti yang terjadi pada minuman berkarbonasi setelah tutupnya dibuka.^[17]

Decompression sickness (DCS) terjadi ketika gelembung-gelembung akibat jenuhnya jaringan menimbulkan gejala. Pada kondisi gelembung-gelembung yang tidak menimbulkan gejala, gelembung tersebut terbentuk di dalam vena, kemudian berjalan melalui jantung, dan terakumulasi di sirkulasi paru-paru lalu secara perlahan akan menghilang. Sedangkan dalam kondisi gelembung-gelembung yang dapat menimbulkan gejala, gelembung dari sirkulasi vena yang muncul setelah dekompresi akan disalurkan melalui PFO mencapai atrium kanan. Gelembung-gelembung tersebut kemudian mengalami arterialisasi yang dapat menimbulkan gejala ketika bersarang di dalam suplai arteri menuju jaringan.^[17] Hal tersebut disebabkan karena gelembung-gelembung udara dapat embolisasi melintasi foramen ovale yang terbuka, masuk ke dalam sirkulasi sistemik dari penyelam dengan PFO, kemudian masuk ke dalam kapiler perifernya, sehingga dapat menyebabkan injuri iskemik. Hal ini diakibatkan karena adanya shunt kanan-ke-kiri (RLS), sehingga emboli gas dapat masuk ke sirkulasi arteri.^[11]

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Honék, dkk pada tahun 2019 menyatakan bahwa PFO grade tiga merupakan faktor risiko utama pada DCS tanpa provokasi. Sehingga pada beberapa penelitian menyarankan untuk dilakukan penutupan PFO berbasis kateter. Selain itu, pada penelitian ini juga menyatakan bahwa bertambahnya usia tidak memberikan efek perlindungan yang signifikan terhadap risiko terjadinya DCS akibat PFO grade tiga.^[6]

Penutupan Patent Foramen Ovale (PFO) Menurunkan Risiko Decompression Sickness (DCS)

Penelitian oleh Koopsen, dkk pada tahun 2018, 20 penyelam dengan PFO yang sudah tertutup, DCS sebagian besar tidak terulang kembali (tidak rekuren). Semua penyelam dapat kembali ke penyelaman tanpa batas, meskipun tiga penyelam memilih untuk melanjutkan aktivitas penyelaman mereka secara lebih konservatif. Menurut penelitian ini, indikasi paling sering untuk penutupan PFO adalah peningkatan risiko stroke kriptogenik, migrain, dan sakit kepala vaskular.^[13]

Penelitian oleh Koopsen, dkk (2018) juga menunjukkan prevalensi keseluruhan shunt kanan-ke-kiri pada populasi penyelam dengan DCS adalah 56%. Ini lebih tinggi dari yang diharapkan pada populasi umum (sekitar 27%). Penelitian ini menemukan prevalensi shunt kanan-ke-kiri yang tinggi pada penyelam dengan *cutis marmorata* (80%) dan pada penyelam dengan DCS vestibular (82%).^[13]

Hal ini didukung juga dengan penelitian oleh Edvinsson, dkk pada tahun 2021 yang menyatakan bahwa, 9 penyelam (semuanya dengan PFO) telah melakukan 6.835 penyelaman (median 410, kisaran 140–2.200) sebelum penutupan PFO, dan 4.708 penyelaman (median 413, kisaran 11–2.000) setelah penutupan PFO. Terdapat 7 kasus dengan gejala DCS ringan dan 10 dengan gejala DCS serius dilaporkan sebelum penutupan PFO. Seorang penyelam dengan sisa shunt kecil menderita DCS serius pasca penutupan PFO; namun, penyelaman itu dilakukan dengan profil penyelaman yang provokatif.^[14]

Edvinsson, dkk (2021) melakukan pemeriksaan dengan ekokardiografi sebelum dan sesudah penutupan PFO. Hasil yang didapatkan membuktikan bahwa penyelam dengan PFO yang telah mengalami DCS dan menjalani penutupan PFO, tidak perlu berhenti menyelam setelah intervensi karena *chamber dives* menghasilkan emboli gas vena pada sebagian besar subjek yang nantinya dapat menyebabkan pembentukan gelembung arterial pada beberapa penyelam

dengan PFO namun tidak pada penyelam dengan penutupan PFO berbasis kateter.^[14]

Tabel 2. Angka kejadian DCS dan kedalaman insiden penyelaman sebelum dan sesudah penutupan PFO, dipisahkan oleh gas/udara yang digunakan. *= Median (range). **= Range. 6 dari 7 insiden penyelaman saat *trimix* (oksigen, nitrogen, helium) terhirup oleh penyelam yang sama, dan data kedalaman hanya dapat diberikan oleh 1 dari 6 penyelam (76 m).^[13]

Parameter	Total	Udara	Nitrox	Trimix
DCS sebelum penutupan PFO	17 1 (1-6)*	9 (53%)	1 (6%)	7 (41%)
DCS setelah penutupan PFO	1	0	1	0
Kedalaman menyelam (m) sebelum penutupan PFO		31 (15-49)**	36	73-76**
Kedalaman menyelam setelah penutupan PFO		-	19	-

Pada penelitian yang dilakukan oleh Honěk, dkk yang dilakukan pada tahun 2022 juga menemukan bahwa penyelam yang melakukan penutupan PFO berbasis kateter dikaitkan dengan kejadian DCS. Dimana, penutupan PFO dapat mengurangi risiko terjadinya DCS. Dalam penelitian tersebut tidak ditemukan kejadian DCS pada kelompok dengan penutupan PFO. Mereka percaya bahwa penutupan PFO berbasis kateter dapat menjadi tindakan pencegahan yang efektif dan aman bagi penyelam yang tidak dapat mengikuti rekomendasi konservatif yang ketat (seperti para profesional) atau yang ingin terus melakukan penyelaman yang rutin (penyelaman dalam dan penyelam dengan campuran gas).^[10]

Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Anderson, dkk pada tahun 2019 menemukan bahwa kejadian DCS berkurang setelah dilakukan penutupan PFO. Penelitian ini membagi subjek menjadi dua kelompok yakni kelompok konservatif (tanpa penutupan PFO) dan kelompok dengan penutupan PFO. Didapatkan hasil bahwa kejadian DCS meningkat pada kelompok konservatif dan menurun secara signifikan pada kelompok dengan penutupan PFO. Selain itu, pada penelitian ini juga mengelompokkan subjek berdasarkan ukuran PFO. Pada subjek yang memiliki PFO yang lebih besar dan melakukan penutupan, terjadi penurunan kejadian DCS, dibandingkan dengan ukuran PFO yang lebih kecil. Hal tersebut disebabkan karena insiden kejadian DCS pada kelompok dengan ukuran yang lebih kecil sangat rendah dan DCS yang

terjadi pada mereka mungkin tidak disebabkan oleh PFO.^[15]

Keenam penelitian ini membuktikan bahwa PFO merupakan salah satu faktor risiko terjadinya DCS pada penyelam. Selain itu, penutupan PFO akan meniadakan peningkatan risiko kejadian DCS yang terkait dengan PFO sehingga penyelam dengan PFO yang telah mengalami DCS dan menjalani penutupan PFO, tidak perlu menghentikan penyelaman setelah intervensi.

KESIMPULAN

Penyelam dengan penutupan PFO atau penutupan shunt mengalami penurunan risiko mengalami DCS. Pada penyelam-penyelam tersebut DCS sebagian besar tidak terulang kembali (tidak rekuren), sehingga mereka dapat kembali ke penyelaman tanpa batas. Dari hal tersebut, dapat dikatakan bahwa PFO merupakan salah satu faktor risiko yang dapat menyebabkan terjadinya DCS pada penyelam.

SARAN

Dalam proses penulisan *systematic review* ini tidak ditemukan adanya perhitungan kuantitatif mengenai besarnya risiko PFO terhadap kejadian DCS. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya diperlukan perhitungan kuantitatif untuk melihat nilai dan besarnya pengaruh PFO terhadap kejadian DCS pada penyelam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mitchell, Simon J; Bennett, Michael H; Moon RE. Decompression sickness and arterial gas embolism. *N Engl J Med* 2022;386:1254–64. <https://doi.org/10.1056/NEJMra2116554>.
- [2] Pingitore A. Diver bubble self-monitoring with audio Doppler echography: a way to know own response to dive. *Intern Emerg Med* 2022;17:13–4. <https://doi.org/10.1007/s11739-021-02888-5>.
- [3] Edmonds C, Bennett M, Lippmann J, Mitchell S. Decompression sickness. *StatPearls*, StatPearls Publishing LLC; 2022, p. 144–59. <https://doi.org/10.1201/b18700-16>.
- [4] Lafère P, Balestra C, Caers D, Germonpré P. Patent Foramen Ovale (PFO), personality traits, and iterative decompression sickness. Retrospective analysis of 209 cases. *Front Psychol* 2017;8:1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01328>.
- [5] Widyastuti SR, Hadisaputro S, Munasik M. Berbagai Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kualitas Hidup Penyelam Tradisional Penderita Penyakit Dekompresi. *J Epidemiol Kesehat Komunitas* 2019;4:45. <https://doi.org/10.14710/jek.v4i1.4429>.
- [6] Honěk J, Šrámek M, Šefc L, Januška J, Fiedler J, Horváth M, et al. High-grade patent foramen ovale is a risk factor of unprovoked decompression sickness in recreational divers. *J Cardiol* 2019;74:519–23. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2019.04.014>.
- [7] Romano V, Gallinoro CM, Mottola R, Serio A, Di Meglio F, Castaldo C, et al. Patent foramen ovale—a not so innocuous septal atrial defect in adults. *J Cardiovasc Dev Dis* 2021;8. <https://doi.org/10.3390/jcdd8060060>.
- [8] Oguntade AS, Oguntade MS. Patent foramen ovale closure review: decades of research and the evolution of the evidence. *Egypt J Intern Med* 2021;33. <https://doi.org/10.1186/s43162-021-00059-8>.
- [9] Alakbarzade V, Keteepe-Arachi T, Karsan N, Ray R, Pereira AC. Patent foramen ovale. *Pract Neurol* 2020;20:225–33. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2019-002450>.
- [10] Honěk J, Šrámek M, Honěk T, Tomek A, Šefc L, Januška J, et al. Screening and Risk Stratification Strategy Reduced Decompression Sickness Occurrence in Divers With Patent Foramen Ovale. *JACC Cardiovasc Imaging* 2022;15:181–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.06.019>.
- [11] Apostolos A, Drakopoulou. The management of patent foramen ovale in divers: where do we stand? *Ther Adv Vaccines* 2022;15:1–11. <https://doi.org/10.1177/https>.
- [12] Germonpré P, Lafère P, Portier W, Germonpré FL, Marroni A, Balestra C. Increased Risk of Decompression Sickness When Diving With a Right-to-Left Shunt: Results of a Prospective Single-Blinded Observational Study (The “Carotid Doppler” Study). *Front Physiol* 2021;12:1–9. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.763408>.
- [13] Koopsen R, Stella PR, Thijs KM, Rienks R. Persistent foramen ovale closure in divers with a history of decompression sickness. *Netherlands Hear J* 2018;26:535–9. <https://doi.org/10.1007/s12471-018-1153-x>.
- [14] Edvinsson B, Thilén U, Nielsen NE, Christersson C, Dellborg M, Eriksson P, et al. Does persistent (Patent) foramen ovale closure reduce the risk of recurrent decompression sickness in scuba divers? *Diving Hyperb Med* 2021;51:63–7. <https://doi.org/10.28920/dhm51.1.63-67>.
- [15] Anderson G, Ebersole D, Covington D, Denoble PJ. The effectiveness of risk mitigation interventions in divers with persistent (Patent) foramen ovale. *Diving Hyperb Med* 2019;49:80–7. <https://doi.org/10.28920/dhm49.2.80-87>.
- [16] Andrika IP. Decompression Sickness, 2018.
- [17] Hexdall EJ, Cooper JS. Patent Foramen Ovale In Diving. *StatPearls*, 2020.