

Tenggelam: Sebuah Diagnosis Eksklusi yang Abadi dalam Kedokteran Forensik

Ari Sri Wulandari

Citra Ariani

Fakultas Kedokteran IPB *University*

Tenggelam atau *drowning* merupakan suatu proses gangguan napas yang dialami akibat terendam atau terbenam ke dalam cairan. Proses tenggelam dimulai ketika saluran napas berada di bawah permukaan cairan (terendam) atau air yang terpercik ke wajah (terbenam).¹ *World Health Organization* (WHO) mencatat 0,7% kematian - sekitar 5.000 kasus - di seluruh dunia disebabkan oleh tenggelam dan terjadi peningkatan sekitar 39-50% pada kematian akibat tenggelam di negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Australia dan Finlandia, dan peningkatan lima kali lipat lebih besar di negara negara miskin dan berkembang.²

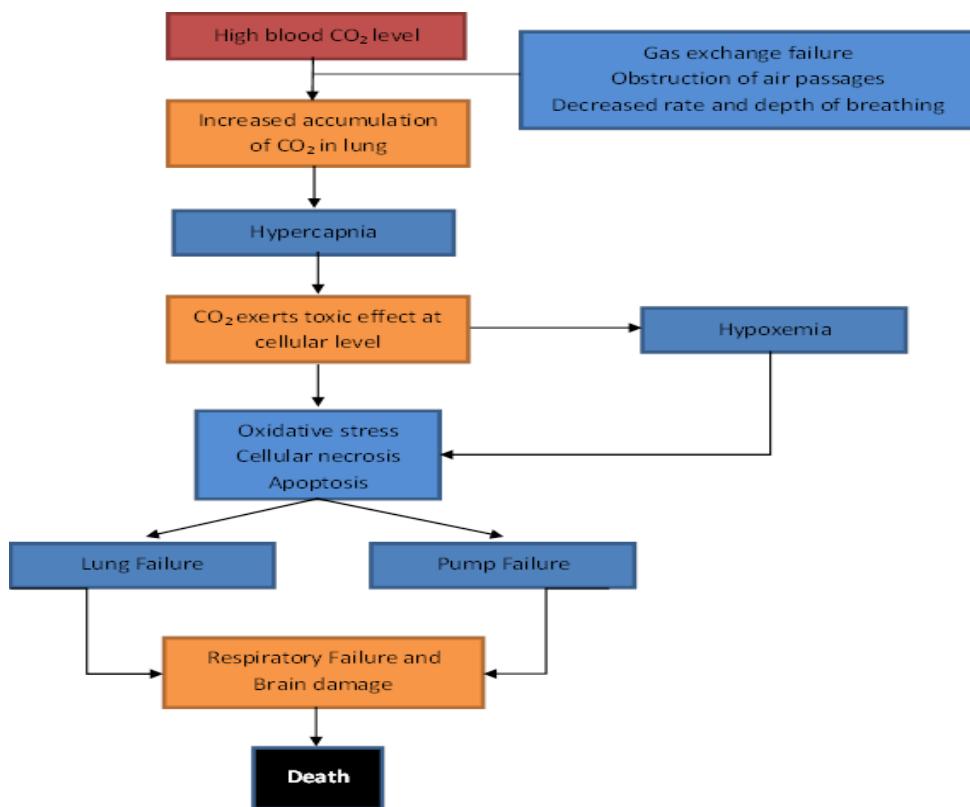
Penentuan diagnosis kematian karena tenggelam sendiri menjadi salah satu tantangan besar di kedokteran forensik karena banyak jenazah yang ditemukan dari air, tetapi tidak semua dikarenakan meninggal tenggelam, bisa saja karena kasus pembunuhan maupun bunuh diri.³ Pun betul jenazah tersebut tenggelam, bukti patologis seringkali sulit atau bahkan tidak mungkin diperoleh.^{4,5} Penentuan diagnosis tenggelam secara tradisional hanya sekedar menilai dari temuan eksternal dan internal dari sebuah jenazah yang diambil dari air sehingga seringkali menjadi sebuah diagnosis eksklusi. Cara ini dinilai tidak efektif karena penentuan diagnosis tenggelam membutuhkan penggabungan dari jenis asfiksia dan perubahan secara tanatologi yang dapat dipengaruhi oleh durasi jenazah di dalam air. Adanya kompleksitas dalam penentuan diagnosis tenggelam ini menjadikan perlunya sebuah algoritma penggabungan dari temuan makroskopis, pemeriksaan jaringan, pemeriksaan mikrobiologi, dan pemeriksaan biokimia.⁴

Apa itu Asfiksia?

Asfiksia adalah suatu keadaan terjadinya gangguan pertukaran udara pernapasan di dalam tubuh sehingga mengakibatkan oksigen dalam darah berkurang (hipoksia) dan terjadi peningkatan karbondioksida (hiperkapne).^{6,7}

Hipoksia adalah kondisi jumlah oksigen yang ada tidak memadai ke jaringan dan terjadi peningkatan kadar karbon dioksida (PCO₂) dalam darah dan jaringan yang disebut hiperkapnia. Kadar normal oksigen dalam darah arteri (PO₂) dengan saturasi sekitar 95% pada usia 30 tahun adalah 90-100 mmHg (12-13 kPa), sedangkan pada usia 60 tahun adalah 65–80 mmHg (8-11 kPa) atau lebih. Penurunan hingga 60 mmHg (8 kPa) menyebabkan hipoksia meskipun saturasi

oksin 90%; 40 mmHg (5 kPa) merupakan hipoksia yang parah dan kematian mungkin terjadi ketika levelnya turun ke 20 mmHg (3 kPa).^{8,9}



Gambar 1. Patofisiologi Keracunan Karbodioksida¹⁰⁻¹³

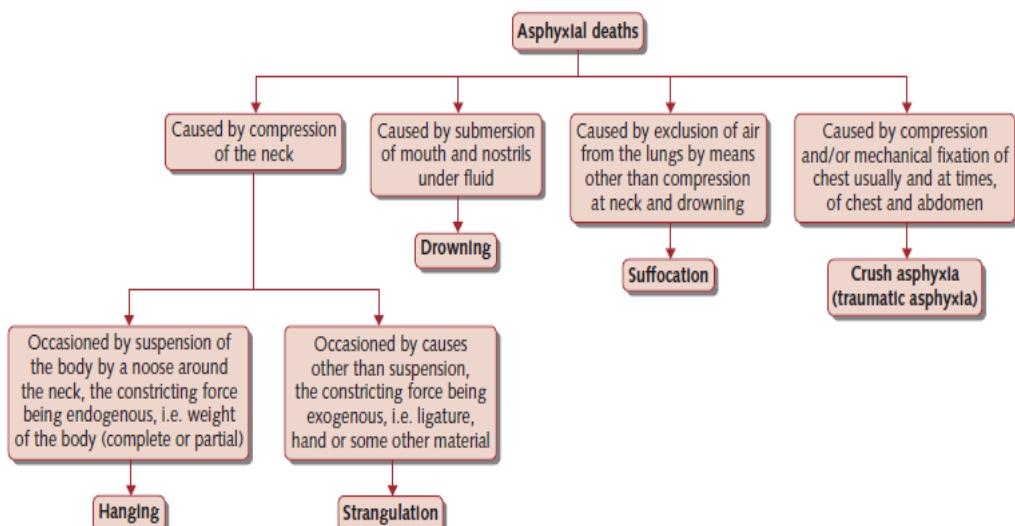
Reduksi oksigen pada tingkat sel mungkin disebabkan oleh (1) penurunan jumlah oksigen di lingkungan, (2) berkurangnya transfer dari udara ke darah, (3) berkurangnya transport dari paru-paru ke jaringan dan (4) berkurangnya transfer melintasi membran sel.¹⁴

Asfiksia dapat terjadi dikarenakan oleh keracunan karbon dioksida yang dapat terjadi dengan kombinasi dari rendahnya kadar oksigen.^{10,11} Karbon dioksida adalah salah satu mediator autoregulasi setempat untuk suplai darah. Apabila kadar karbon dioksidanya tinggi, kapiler akan mengembang untuk mengizinkan arus darah yang lebih besar ke jaringan yang dituju, sehingga *buffering system* akan menuju asidosis dan meningkatnya kalium. Peptida, protein, dan asam amino akan membantuk *N-carboxy derivate* (karbamat) yang dapat menyebabkan neurotoksitas dan peningkatan stimulus simpatis (peningkatan denyut jantung, *cardiac output* dan aritmia; serta peningkatan *mean pulmonary artery pressure* dan *pulmonary vascular resistance*).^{10,13}

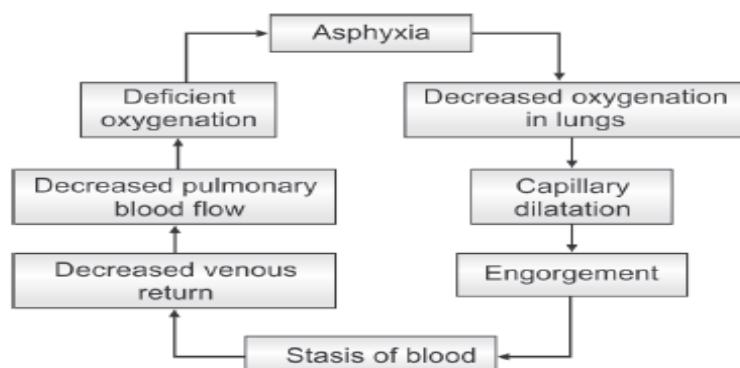
Asfiksia terbagi menjadi beberapa macam berdasarkan penyebabnya, yaitu:^{3,9}

1. Asfiksia mekanik

- **Strangulasi**, yaitu penekanan pada leher dengan alat, tangan atau lainnya
 - **Choking atau gagging**, yaitu adanya sumbatan pada jalan napas
 - **Asfiksia kompresi**, yaitu adanya tekanan pada dada atau perut yang menyebabkan ketidakmampuan untuk bernapas secara efektif
 - **Pembekapan**, yaitu sumbatan pada mulut atau hidung yang menyebabkan ketidakmampuan untuk bernapas efektif
 - **Gantung**, yaitu penekanan pada leher dengan alat yang dikombinasi dengan berat badan
2. Asfiksia non-mekanik
- Keracunan karbonmonoksida
 - Keracunan sianida
3. Asfiksia lainnya
- Tenggelam



Gambar 2. Bagan Kematian karena Asfiksia⁹



Gambar 3. Patofisiologi Asfiksia¹⁵

Sementara berdasarkan mekanisme, asfiksia dapat diklasifikasikan menjadi:^{9,16,17}

1. Hipoksia Hipoksik

Keadaan tidak dapat masuknya oksigen ke dalam aliran darah atau tidak cukupnya oksigen mencapai aliran darah (contoh: pada orang-orang yang menghisap gas inert, berada dalam tambang, atau pada tempat yang tinggi dimana kadar oksigen berkurang).

2. Hipoksia stagnan

Terjadi karena gangguan dari sirkulasi darah (contoh: emboli).

3. Hipoksia anemik

Darah tidak dapat mengangkut oksigen yang cukup, hal ini bisa terjadi akibat volume darah yang kurang maupun karena kadar hemoglobin yang rendah (contoh: intoksikasi CO).

4. Hipoksia Histotoksik

Keadaan sel-sel tidak dapat menggunakan oksigen dengan baik.

Apa itu Tenggelam?

Tenggelam biasanya didefinisikan sebagai kematian akibat asfiksia yang disebabkan oleh masuknya cairan ke dalam saluran pernapasan. Pada kasus tenggelam, korban terbenam dalam air sehingga sistem pernapasannya terganggu mengakibatkan hilangnya kesadaran dan menjadi ancaman pada jiwa pada korban. Pada kasus tenggelam, seluruh tubuh tidak perlu terbenam di dalam air, asalkan lubang hidung dan mulut berada di bawah permukaan air sudah cukup memenuhi kriteria tenggelam.¹ Air dapat menyebabkan kematian apabila terhirup paru sebanyak 2 liter untuk orang dewasa dan sebanyak 30-40 mililiter untuk bayi.^{7,18}

Tenggelam dapat terjadi di manapun dan juga dapat terjadi pada kasus penurunan kesadaran akibat alkohol, epilepsi, atau anak kecil pada air dengan ketinggian air 6 inci (15,24 cm). Mekanisme kematian yang terjadi akibat tenggelam berupa anoksia serebral yang ireversibel atau yang sering disebut dengan asfiksia.²

Lalu, mekanisme fisiologi apa yang terjadi pada saat korban tenggelam? Reaksi awal tenggelam yang timbul adalah usaha bernapas yang berlangsung hingga batas kemampuan dicapai karena seseorang harus bernapas, batas kemampuan ini, yang disebut sebagai *breakpoint*, ditentukan oleh kombinasi antara keadaan hiperkapnia dan hipoksia. Menurut Pearn, batas kemampuan berada pada tingkat PCO₂ di bawah 55 mmHg saat terjadi hipoksia dan tingkat PO₂ di bawah 100 mmHg saat PCO₂ tinggi. Selain kadar pCO₂, input aferen dari otot – otot pernapasan juga mempengaruhi usaha untuk mengambil napas. Artinya, semakin seseorang berusaha untuk menahan napas dan mengurangi gerakan pada otot pernapasan, pusat

pernapasan akan menginisiasi usaha bernapas. Dalam keadaan ini, usaha volunteer seseorang untuk menahan napas akan “dikalahkan” oleh perintah dari kontrol pernapasan untuk melakukan usaha bernapas. Saat kondisi sudah mencapai *breakpoint* dan ketiadaan input aferen dari otot pernapasan membuat korban menarik napas secara involunter dan menghirup air dalam volume besar. Hal ini menjelaskan mengapa pada korban tenggelam, sebagian air dapat tertelan dan dapat ditemukan di perut. Selama bernapas di dalam air, korban mungkin muntah dan terjadi aspirasi isi lambung. Usaha pernapasan di bawah air akan berlangsung selama beberapa menit, hingga pernapasan terhenti. Hipoksia serebral akan berlanjut hingga irreversibel dan terjadi kematian.⁷

Kematian pada tenggelam dapat disebabkan oleh:^{3,7,9,19,20}

1. Refleks vagal

Peristiwa tenggelam yang menyebabkan kematian akibat refleks vagal disebut tenggelam tipe 1.²⁰ Pada tipe ini, kematian terjadi sangat cepat dan pada pemeriksaan postmortem tidak ditemukan adanya tanda-tanda asfiksia maupun air di dalam paru-parunya sehingga sering disebut tenggelam kering (*dry drowning*).

2. Spasme laring

Kematian karena spasme laring pada tipe tenggelam umumnya jarang terjadi. Spasme laring tersebut terjadi karena rangsangan air yang masuk ke laring. Pada pemeriksaan postmortem ditemukan tanda-tanda asfiksia, tetapi pada paru-parunya tidak didapatkan tanda adanya air atau benda-benda lainnya.

3. Pengaruh air yang masuk paru-paru.

Apakah ada perbedaan tenggelam di air tawar dan air asin? Ya, **peristiwa tenggelam di air tawar akan menimbulkan anoksia disertai gangguan elektrolit**. Pada keadaan ini terjadi absorpsi cairan secara masif dalam jumlah yang bisa mencapai 70% dari volume darah awal dalam 3 menit karena konsentrasi elektrolit di dalam air tawar lebih rendah dibandingkan konsentrasi dalam darah sehingga akan menyebabkan terjadinya hemodilusi darah, air masuk ke dalam aliran darah sekitar alveoli dan mengakibatkan hemolisis. Dengan terpecahnya eritrosit maka ion kalsium intrasel akan terlepas, dalam hal ini terjadi akibat pengenceran darah sehingga tubuh mencoba mengatasinya dengan melepas ion kalium dari serabut otot jantung sehingga kadar ion kalium dalam plasma meningkat, terjadi perubahan keseimbangan ion Ca dan K dalam serabut otot jantung sehingga menimbulkan hiperkalemia yang akan menyebabkan terjadinya fibrilasi ventrikel dan menyebabkan penurunan tekanan darah, yang kemudian menyebabkan timbulnya kematian akibat anoksia otak. Kematian dalam air tawar terjadi dalam waktu 4-5 menit. Pemeriksaan postmortem ditemukan tanda-tanda

asfiksia, kadar NaCl jantung kanan lebih tinggi dibanding jantung kiri dan adanya buih serta benda-benda air pada paru-paru. Tenggelam jenis ini disebut tenggelam tipe IIA.²⁰

Sementara itu, peristiwa tenggelam di air asin akan mengakibatkan terjadinya anoksia dan hemokonsentrasi. Tenggelam jenis ini akan disebut sebagai tenggelam tipe IIB.²⁰ Dibandingkan tenggelam tipe IIA kematian pada tenggelam tipe ini terjadi lebih lembat. Konsentrasi elektrolit air laut lebih tinggi daripada dalam darah sehingga air akan ditarik dari sirkulasi pulmonal ke dalam jaringan interstitial paru yang akan mengakibatkan edema pulmoner, hemokonsentrasi, hipovolemia dan kenaikan kadar magnesium dalam darah. Hemokonsentrasi akan menyebabkan sirkulasi menjadi lambat dan menyebabkan terjadinya payah jantung. Kematian terjadi 8-12 menit setelah tenggelam. Pemeriksaan postmortem ditemukan adanya tanda-tanda asfiksia, kadar NaCl pada jantung kiri lebih tinggi dibandingkan jantung kanan, serta ditemukan buih serta benda air pada paru-paru.

Tenggelam dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Typical drowning (wet drowning)*

Typical drowning ditandai dengan adanya hambatan pada saluran napas dan paru karena adanya cairan yang masuk ke dalam tubuh. Pada keadaan ini cairan masuk ke dalam saluran pernapasan setelah korban tenggelam.⁷

2. *Atypical drowning*

Atypical drowning ditandai dengan sedikitnya atau bahkan tidak adanya cairan dalam saluran napas. Karena tidak khasnya tanda autopsi pada korban *atypical drowning*, maka untuk menegakkan diagnosis kematian selain tetap melakukan pemeriksaan luar juga dilakukan penelusuran keadaan korban sebelum meninggal dan riwayat penyakit dahulu.⁷ *Atypical drowning* dibedakan menjadi:

- *Dry Drowning*

Istilah *dry drowning* digunakan untuk menggambarkan keadaan dimana pada jenazah saat dilakukan autopsi tidak ditemukan adanya cairan dalam saluran pernapasan dan paru-paru namun ditemukan tanda-tanda asfiksia.^{16,21}

- *Shallow water drowning*

Pada kondisi ini, tenggelam terjadi pada air dengan ketinggian yang dangkal, tapi cukup untuk menenggelamkan bagian mulut atau hidung. Biasanya terjadi akibat kecelakaan pada orang cacat atau anak kecil, epilepsi, keadaan mabuk, koma, atau orang dengan trauma kapitis.²¹

- *Immersion syndrome (vagal inhibition)*

Terjadi dengan tiba-tiba pada korban tenggelam di air yang sangat dingin (<20°C atau 68°F) akibat reflek vagal yang menginduksi disaritmia yang menyebabkan asistol dan fibrilasi ventrikel sehingga menyebabkan kematian.^{6,16,21}

- *Secondary drowning*

Pada jenis ini, korban yang sudah dievakuasi dari dalam air tampak sadar dan bisa bernapas sendiri tetapi secara tiba-tiba kondisinya memburuk.^{6,16,21} Pada kasus ini terjadi perubahan kimia dan biologi paru yang menyebabkan kematian terjadi lebih dari 24 jam setelah tenggelam di dalam air. Kematian terjadi karena kombinasi pengaruh edema paru, *aspiration pneumonitis*, gangguan elektrolit (asidosis metabolik).²¹

Berbagai Temuan pada Kasus Tenggelam

1. Temuan Autopsi

Pada autopsi, tidak ada temuan patognomonik untuk menunjukkan diagnosis tenggelam. Diagnosis didasarkan pada keadaan kematian, ditambah berbagai temuan anatomi yang tidak spesifik. Diagnosis tenggelam tidak dapat dibuat tanpa autopsi lengkap, terutama dengan pemeriksaan toksikologi lengkap, karena ini adalah diagnosis eksklusi. Jika jenazah ditemukan di dalam air dan semua penyebab kematian lainnya telah dikecualikan, korban dianggap telah tenggelam.^{5,7}

Tidak jarang adanya pemberian beban tambahan pada tubuh korban agar terbenam di dalam air, hal ini berkaitan dengan pembunuhan dan bunuh diri. Ketika seseorang tenggelam, tubuhnya akan terapung dengan asumsi posisi kepala turun, bokong naik, dan ekstremitas menggantung ke bawah. Tubuh tidak akan bergerak sangat jauh dari posisi awalnya, terkecuali jika arus deras. Dalam air yang relatif dangkal, ekstremitas atau wajah dapat menabrak atau menyeret bagian bawah tubuh, sehingga sering menyebabkan cedera postmortem pada wajah, punggung tangan, lutut, dan jari kaki. Pada air yang dalam, tubuh tetap di bawah permukaan sampai proses dekomposisi dimulai dan terbentuk gas; tubuh akan secara bertahap naik ke permukaan. Sementara dalam air yang sangat dingin, tubuh mungkin tetap terendam selama berbulan-bulan sebelum dekomposisi menghasilkan gas yang cukup untuk membawanya ke permukaan. Bergantung pada berapa lama tubuh berada di dalam air, mungkin ada muncul bukti aktivitas hewan, misalnya, ikan, kura-kura, kepiting, atau udang.^{7,19}



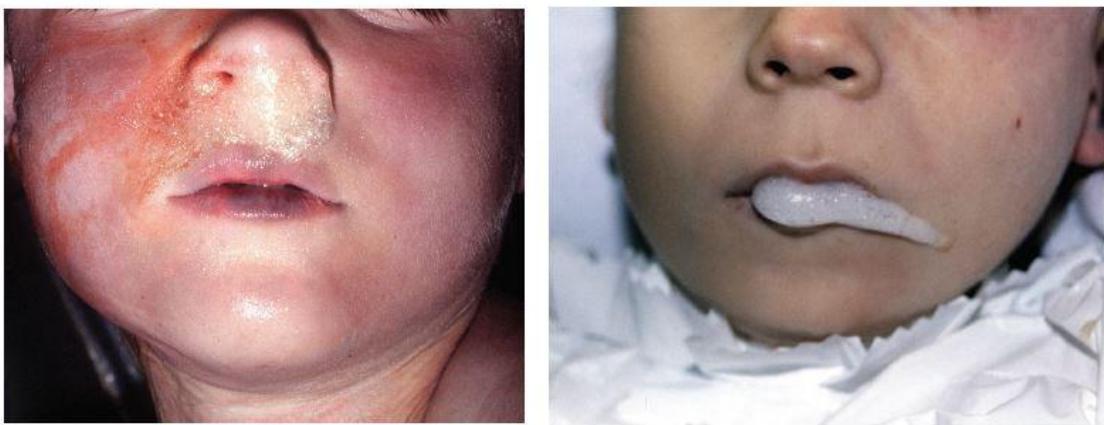
Gambar 2.3 Gambaran *washerwoman hand* pada korban tenggelam. Gambar pertama tangan terendam selama 1 minggu, sidik jari masih dapat diperiksa, gambar kedua tangan sudah terendam selama satu bulan.⁵

Tangan dan kaki biasanya memiliki penampilan khas "*washerwoman hand*" jika yang meninggal telah berada di dalam air selama lebih dari 1-2 jam (Gambar 2.3). Penampilan tangan dan kaki ini tidak mengindikasikan bahwa korban meninggal karena tenggelam. Hal yang sama berlaku untuk "*cutis anserina*" yaitu kontraksi otot *erector pilae* yang disebabkan oleh rigor mortis namun ini juga tidak menunjukkan apakah orang itu hidup atau mati ketika memasuki air.

Temuan signifikan dari autopsi tenggelam adalah adanya busa berupa cairan putih atau kemerahan di lubang hidung, mulut, dan saluran udara seperti pada trachea dan bronkus (Gambar 2.4), bila tidak ada dapat dilakukan kompresi dada terlebih dahulu agar dapat keluar.^{4,5,7} Menurut DiMaio (2001), temuan edema paru dinilai tidak spesifik pada kasus tenggelam⁷, meskipun paru-paru korban tenggelam yang basah umumnya besar dan tebal. Sedangkan Copeland berpendapat bahwa tidak ditemukan perbedaan berat paru yang signifikan pada korban yang tenggelam di air tawar dan air asin, hanya ada peningkatan berat paru sekitar 10-20% dari berat normal. Berat paru-paru pada kasus tenggelam sekitar 600-700 gram, pada paru yang tidak tenggelam sekitar 370-540 gram.

Pada pemeriksaan makroskopik akan tampak paru-paru menutupi jantung atau berada di atas jantung (overinflasi), rongga mediastinum anterior menghilang, paru tampak pucat seperti gambaran "*emphysema aquosum*". Apabila terjadi edema yang terdapat pada bronkus, paru-paru akan kolaps sehingga timbul kematian.⁵

Temuan lainnya dapat berupa adanya benda-benda asing (tumbuhan air, pasir, dan lumpur) pada trachea, bronkus, dan bronkioli; terdapat cairan bahkan benda asing dari air di lambung; dan ditemukan perdarahan pada telinga tengah dan tulang temporal, hal ini terkait dengan tekanan hidrostatik di dalam telinga.^{3,5} Pleura dapat berwarna kemerahan dan pada daerah subpleural dengan terdapat ptekie bahkan menjadi bercak-bercak bila terjadi hemolisis yang disebut *Paltauff's spot*.⁷



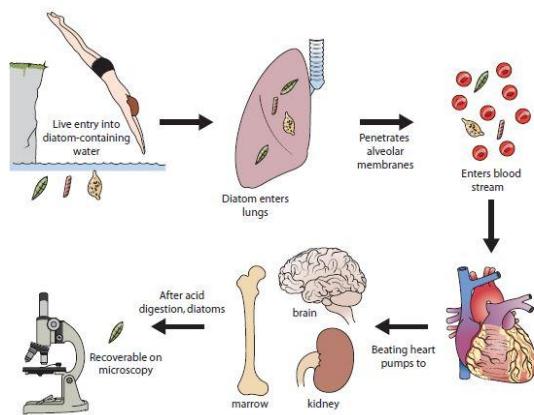
Gambar 2.4 Gambaran busa pada korban tenggelam.⁵

2. Pemeriksaan Histopatologi

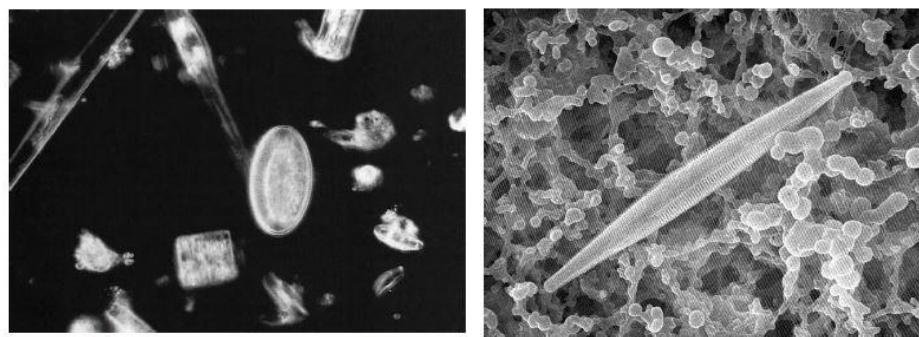
Pada jenazah segar kita bisa mendapatkan gambaran emfisema aquosum dari mikroskopik, namun pada jenazah busuk, akan terlihat adanya dilatasi alveoli, penipisan dinding, serta kompresi kapiler, namun hasilnya tidak probatif. Jumlah makrofag di alveoli disesuaikan dengan ukuran alveoli pada organ yang membesar dan proses autolisis juga dapat ditemukan.^{4,5}

3. Pemeriksaan Diatom dan Mikrobiologi

Pada jenazah yang dicurigai ditenggelamkan pada saat masih hidup dapat ditemukan plankton di dalam paru dan organ internal.⁴ Temuan yang cukup signifikan adalah adanya fitoplankton bercangkang silika, seperti diatom, yang dapat menembus dinding alveolar dan menyebar ke target organ seperti otak, ginjal, hati, dan sumsum tulang.^{5,7,9,16,19} Namun patut diperhatikan bahwa munculnya diatom pada paru bukanlah suatu diagnosis pasti karena bisa saja muncul akibat jenazah yang terlalu lama terendam.^{4,19} Potongan jaringan organ yang diambil pada saat autopsi akan diuji dilarutkan dengan asam kuat, sehingga dapat teridentifikasi dengan mikroskop. Pemeriksaan diatom ini hanya digunakan sebagai bantuan indikatif dan bukan sebagai bukti hukum pada kasus tenggelam.⁵



Gambar 2.5 Prinsip pemeriksaan diatom pada korban tenggelam.⁵



Gambar 2.6 Diatom yang terlihat di mikroskop.⁵

Dalam konteks temuan mikrobiologi, temuan pada korban tenggelam dapat berupa mikroflora akuatik yang dapat menembus dinding membran kapiler alveolus dan masuk ke sirkulasi darah. Beberapa bakteri tersebut adalah *Pseudomonas putida* dan *Pseudomonas fluroscens*.²² Terkadang dapat ditemukan juga koloni-koloni *Photobacterium*, *Vibrio*, *Shewanella*, dan *Psychobacter* yang digolongkan sebagai bakteri laut.²³ Pengambilan darah dan proses pengkulturan bakteri merupakan salah satu hal penting karena bakteri mikroflora akuatik sulit menyebar dalam keadaan postmortem meskipun pada jenazah yang sudah busuk.²⁴ Beberapa penelitian juga meninjau adanya *fecal bacteria*, *coliforms*, dan bakteri streptokokal dapat ditemukan di darah pada ventrikel kanan dan kiri serta pada arteri dan vena femoralis.²⁵

4. Pemeriksaan Biokimia

Pemeriksaan biokimia darah dapat dilakukan karena adanya proses hemodilusi pada kasus tenggelam di air tawar dan perubahan elektrolit pada tenggelam di air asin pada kasus tenggelam. Pada kecurigaan tenggelam pada air tawar, uji Gettler dapat menganalisis kandungan klorida pada jantung kiri dan kanan, dengan adanya efek dari hemodilusi konsentrasi klorida pada sisi kiri jantung dapat menurun dengan nilai signifikan 25mg/100 ml. Sementara bila dilakukan pada kasus tenggelam di air asin akan memberikan nilai sebaliknya. Durlacher *et al.* menyatakan tidak menemukan perubahan elektrolit natrium, kalium dan klorida sehingga hal ini tidak dapat diandalkan⁵, sementara menurut Usmoto *et al*, terdapat

perbedaan signifikan dari nilai natrium, kalium, dan klorida. Konsentrasi tinggi pada natrium, kalsium, magnesium dan klorin yang terdeteksi di darah pada jantung kiri dan cairan perikardial menandakan bahwa korban tenggelam di air asin.⁴

Indikator lainnya adalah jumlah strontium dalam darah ventrikel kanan dan kiri, hal ini dapat menyatakan bahwa apakah korban tenggelam secara *typical* atau *atypical*. Apabila perbedaan konsentrasi strontium pada ventrikel kanan dan kiri berbeda $< 20\mu\text{g/L}$, dapat dikategorikan sebagai "*atypical drowning*".⁴ Azparren *et al.* juga berpendapat bahwa apabila perbedaan dalam konsentrasi strontium darah dari jantung kiri dan kanan $> 75 \mu\text{g/L}$ dapat mengindikasikan bahwa korban tenggelam di air asin.⁵

Penegakan Diagnosis Kematian karena Tenggelam dan Rancangan Algoritma

Penegakkan diagnosis kematian karena tenggelam adalah tantangan abadi di dunia kedokteran forensik karena secara tradisional, penegakkan diagnosis kematian karena tenggelam ini menggunakan diagnosis eksklusi yang belum ada algoritmanya. Algoritma yang diajukan Marella *et al.* secara fundamental terdiri dari dua kriteria berdasarkan pada:⁴

1. Pemeriksaan jenazah, yang mencakup pemeriksaan luar dan dalam, dan pemeriksaan histologi;
2. Pemeriksaan laboratorium/ penunjang.

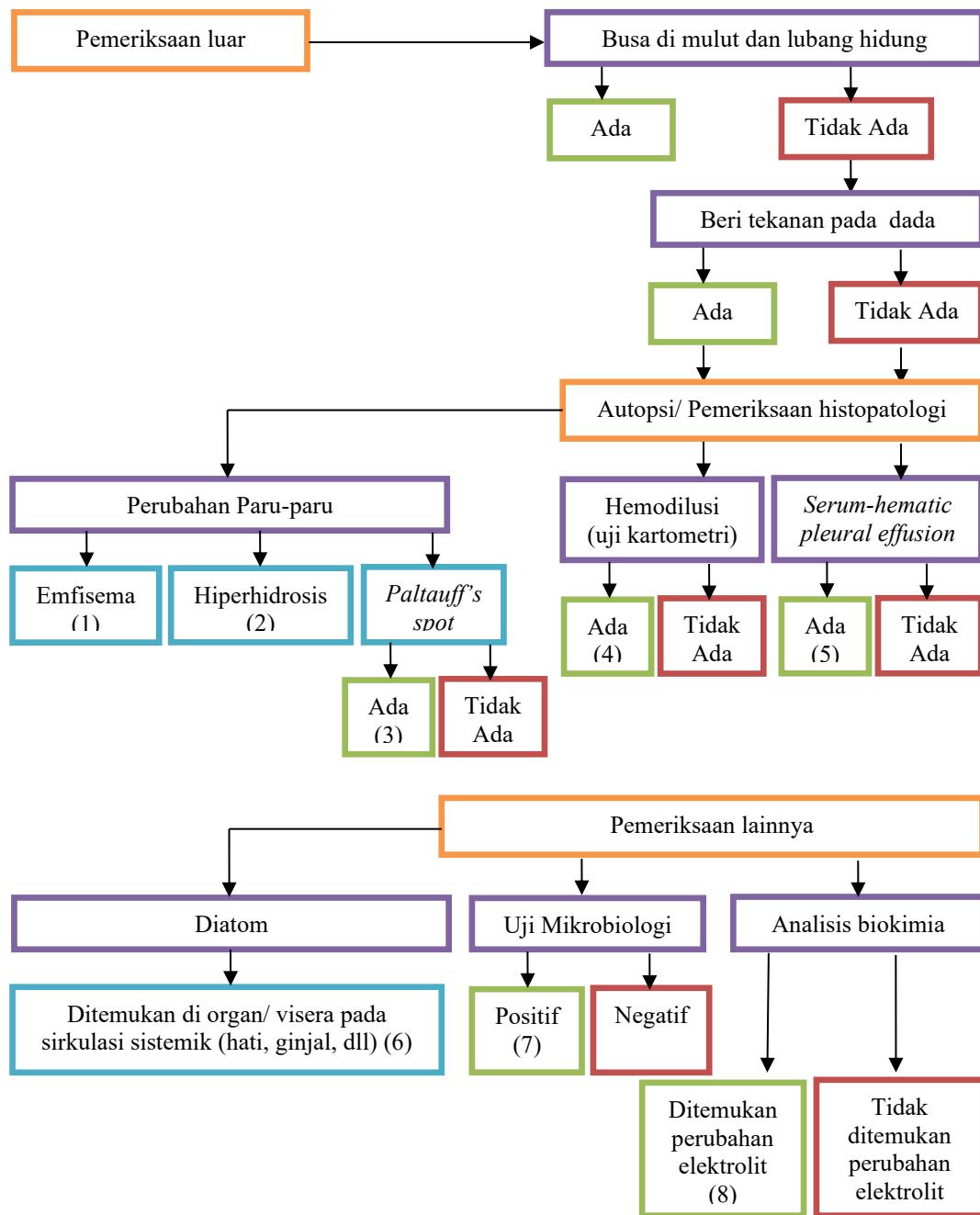
Menurut Marella *et al.*, pada pemeriksaan luar, hal yang paling penting adalah buih di sekitar mulut dan lubang hidung. Akan tetapi, temuan ini saja tidak memungkinkan diagnosis tenggelam,^{3,5,7,9,19} tetapi harus dievaluasi karena dapat mengasumsikan nilai diagnostik yang definitif.

Hal lainnya adalah adanya emfisema paru dan hiperhidrosis penting untuk diagnosis tenggelam, terutama bila terdapat *Paltauff's spots*;^{4,7,19} meskipun menurut Knight (2016), penambahan berat paru karena air yang terhirup pada saat tenggelam tidak signifikan karena perbedaannya begitu tipis dengan paru normal.⁵ Hemodilusi yang terjadi pada darah ventrikel jantung kiri dan *serum-hematic pleural effusion* juga menjadi poin penting dalam diagnosis tenggelam. Di antara ketiganya, temuan diagnostik yang paling signifikan adalah hemodilusi, yang diasumsikan dapat menjadi penyebab utama ketika dikaitkan dengan adanya emfisema paru dan/atau hiperhidrosis.

Pemeriksaan penunjang dilakukan untuk memastikan diagnosis yang dibuat berdasarkan temuan autopsi atau jika tidak ditemukan apapun saat autopsi, hal ini dapat dipakai untuk mendiagnosis tenggelam. Uji diatom dalam organ di sirkulasi sistemik (contoh: hati, ginjal, dll), uji bakteriologis, dan analisis biokimia memiliki peran penting. Atas dasar temuan ini,

tenggelam dapat didiagnosis jika konsentrasi tinggi diatom hadir dalam organ sirkulasi sistemik, karena konsentrasi kecil dapat ditemukan pada populasi umum,^{3,5} dan/atau jika bakteri ditemukan dalam darah atau visera. Perubahan konsentrasi elektrolit (pada jurnal dibahas tentang strontium, bromin, zat besi) tidak memiliki nilai diagnostik yang begitu berarti, karena perubahan elektrolit dapat terjadi pada populasi umum karena komorbid yang ada. Perubahan nilai elektrolit lainnya seperti natrium, kalium, dan klorin juga dapat memberikan suatu pandangan tentang jenazah tenggelam di air tawar atau air asin,¹⁶ namun menurut Knights itu tidak begitu berarti.⁵ Perubahan seperti itu harus dievaluasi relatif terhadap hasil semua investigasi lain, sehingga dapat memperkuat penilaian diagnostik. Akhirnya, jika kriteria makroskopik dan laboratorium dipertimbangkan dalam algoritma masih tidak ditemukan, diagnosis kematian dengan tenggelam harus kembali menggunakan diagnosis eksklusi dan perlu penyelidikan lebih lanjut dilakukan untuk menentukan penyebab kematian.

Tabel 1. Algoritma Diagnosis Tenggelam⁴



2.5.1. Diagnosis tenggelam dengan kriteria autopsi/ histopatologi:

Adanya (1) atau (2) + (3) + (4) + (5)

Atau

Adanya (1) atau (2) + (4).

Diagnosis tenggelam dengan kriteria laboratorium apabila kriteria autopsi/ histopatologi tidak mencukupi:

Adanya (6) dan/atau (7) dengan atau tanpa (8).

Apabila tidak ada (6) dan (7), diagnosis eksklusif dapat dilakukan bila investigasi diagnosis tidak menunjukkan komorbid-komorbid atau perubahan patologis yang dapat menyebabkan kematian.

Referensi

1. Szpilman D, Bierens JJLM, Handley AJ, Orlowski JP. Current Concepts: Drowning. *N Engl J Med.* 2012;
2. World Health Organization. Global Report on Drowning: Preventing A Leading Killer. Spain: WHO Press; 2014.
3. Payne-James J, Jones R, Karch SB, Manlove J. Simpson's Forensic Medicine. 14th ed. London: Hodder Arnold; 2020.
4. Marella GL, Feola A, Marsella LT, Mauriello S, Giugliano P, Arcudi G. Diagnosis of Drowning, An Everlasting Challenge in Forensic Medicine: Review of The Literature and Proposal of A Diagnostic Algorithm. *Acta Medica Mediterr.* 2019;35(2):919–27.
5. Knight B, Sauko P. Immersion Deaths. In: Knight's Forensic Pathology. 4th ed. Boca Raton: CRC Press; 2016. p. 399–414.
6. Budiyanto A, Widiatmaka W, Sudiono S. Ilmu Kedokteran Forensik. 2nd ed. Jakarta: Bagian Kedokteran Forensik Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia; 1997.
7. DiMaio VJ, DiMaio D. Forensic Pathology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2004.
8. Knight B, Sauko P. Suffocation and “Asphyxia.” In: Knight's Forensic Pathology. 4th ed. Boca Raton: CRC Press; 2016. p. 353–65.
9. Vij K. Textbook of Forensic Medicine and Toxicology. 5th ed. Nasim S, Shravan K, editors. Chennai: Elsevier; 2011.
10. Guais A, Brand G, Jacquot L, Karrer M, Dukan S, Grévillot G, et al. Toxicity of Carbon Dioxide: A Review. *Chem Res Toxicol.* 2011;24(12):2061–70.
11. Milroy CM. Deaths from Environmental Hypoxia and Raised Carbon Dioxide. *Acad Forensic Pathol.* 2018;8(1):2–7.
12. Triantoro NA, Sudarto W. Patofisiologi dan Penanganannya pada Keracunan Gas Karbon Dioksida. *Sains Med J Kedokt dan Kesehat.* 2013;
13. Langford NJ. Carbon Dioxide Poisoning. *Toxicol Rev.* 2005;24(4).
14. Prahlow JA, Byard RW. Atlas of Forensic Pathology. United States: Humana Press; 2012.
15. Biswas G. Review of Forensic Medicine and Toxicology. Third Edit. Review of Forensic Medicine and Toxicology. New Delhi: The Health Sciences Publisher; 2012.
16. Sharma RK. Concise Textbook of Forensic Medicine & Toxicology. 3rd ed. Noida: Global Education Consultants; 2011.
17. Hoediyanto, Apuranto H, Hariadi A. Buku Ajar Ilmu Kedokteran Forensik dan Medikolegal. 8th ed. Hoediyanto, Apuranto H, editors. Surabaya: Departemen Ilmu

- Kedokteran Forensik dan Medikolegal Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga; 2012. 312–317 p.
18. World Health Organization. Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Geneva; 2013.
 19. Dolinak D, Matshes E, Lew E. *Forensic Pathology: Principles and Practices*. 1st ed. Burlington: Elsevier Academic Press; 2005.
 20. Aggrawal A. *An Insight into Essentials of Forensic Medicine and Toxicology*. 1st ed. New Delhi: Avichal Publishing Company; 2014.
 21. Bardale R. *Principles of Forensic Medicine & Toxicology*. 1st ed. New Delhi: Jaype Brothers Medical Publishers; 2011.
 22. Mishul'skiĭ AM. The use of bacteriological analysis of the blood in the diagnosis of death by drowning. *Sud Med Ekspert*. 1990;33(1):26—28.
 23. Kakizaki E, Takahama K, Seo Y, Kozawa S, Sakai M, Yukawa N. Marine bacteria comprise a possible indicator of drowning in seawater. *Forensic Sci Int*. 2008;176(2–3):236–47.
 24. Kakizaki E, Kozawa S, Imamura N, Uchiyama T, Nishida S, Sakai M, et al. Detection of marine and freshwater bacterioplankton in immersed victims: Post-mortem bacterial invasion does not readily occur. *Forensic Sci Int* [Internet]. 2011;211(1–3):9–18. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.03.036>
 25. Lucci A, Curnelli A. A microbiological test for the diagnosis of death by drowning. *Forensic Sci Int*. 2007;168(1):34–6.