

MATI OTAK

Diagnosis dan Aplikasi Klinis

MATI OTAK

Diagnosis dan Aplikasi Klinis

Asra Al Fauzi



Penerbit Indeks, Jakarta
2019

MATI OTAK: DIAGNOSIS DAN APLIKASI KLINIS

Penulis: Dr. dr. Asra Al Fauzi, SE, MM, Sp.BS(K), FICS, IFAANS

Penyunting Isi & Bahasa: Bambang Sarwiji

Penata Letak: mastergrafis

Desain Sampul: mastergrafis



Hak Cipta

©2019 Penerbit Indeks Jakarta

Permata Puri Media Jl. Topaz Raya C2/16

Kembangan – Jakarta Barat 11610

www.indeks-penerbit.com

All right reserved. No Part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission in writing from the publisher.

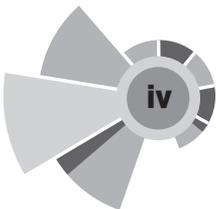
Hak Cipta dilindungi. Tidak ada bagian dari cetakan ini yang boleh diproduksi ulang, disimpan dalam suatu sistem yang dapat diambil kembali atau diproduksi ulang atau disampaikan dalam format apa pun atau dengan cara-cara lainnya, secara elektronik, secara mekanis, dengan fotokopi, kecuali kopi dari halaman-halaman yang dapat diproduksi kembali untuk digunakan oleh lembaga yang membeli, merekam atau lainnya tanpa izin tertulis terlebih dahulu dari penerbit.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN (10) 979 - 062 - 512 - X

(13) 978 - 979 - 062 - 512 - 9

Cetakan 1, 2019



Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis

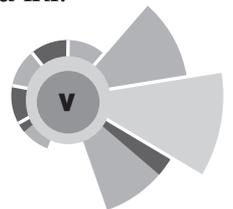


Kata Pengantar

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan anugerah-Nya, sehingga buku ini dapat diselesaikan. Buku ini merupakan buku referensi untuk praktisi medis, manajemen rumah sakit, praktisi hukum, dan organisasi profesi yang terkait supaya mendapatkan informasi yang lebih komprehensif mengenai mati otak. Kita ketahui bahwa secara aspek sosio-kultural, istilah mati otak belum banyak diketahui dan diterapkan secara prosedural di Indonesia. Selain itu, banyaknya perbedaan prosedur antar institusi, baik di dalam maupun di luar negeri terkait kriteria dan penerapan mati otak, membuat buku ini penting untuk dijadikan acuan. Dalam buku ini akan dijelaskan tentang konsensus terakhir dan beberapa ketentuan yang berlaku di negara lain, sehingga para praktisi medis yang bersentuhan langsung dengan kasus-kasus mati otak dapat memperoleh asupan yang memadai untuk dijadikan referensi dalam membuat diagnosis, penerapan teknis secara langsung di rumah sakit, dan melakukan sertifikasi secara tepat dalam kasus mati otak.

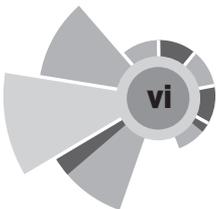
Karena perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dunia kedokteran amat sangat cepat, hal ini tentu melahirkan konsekuensi mengenai adanya tuntutan yang makin kompleks baik dari segi hukum maupun dari sisi etik. Maka dari itu, hadirnya buku ini diharapkan mampu melengkapi khasanah keilmuan kedokteran Indonesia yang kini semakin maju dan juga memberikan wawasan baru untuk aspek etik dan legal yang sering dihadapi di lapangan.

Akhirnya penulis tak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan buku ini.



Mengingat ketidaksempurnaan buku ini, penulis juga akan berterima kasih atas berbagai masukan dan kritikan demi kesempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

Surabaya, September 2018
Penyusun



Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



Untuk :
Istriku Dyaning Wahyu Primasari
Ananda Aldira Rachmaniah Titisari
Ananda Alfira Kamilla Rachmadanty
dan
Ayahanda Muhammad Arif
Ibunda Irna Sofijati

Asra Al Fauzi

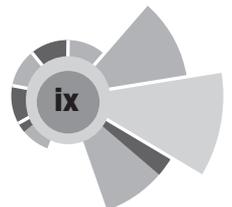
SAMBUTAN KETUA UMUM PENGURUS PUSAT PERHIMPUNAN SPESIALIS BEDAH SARAF INDONESIA (PP PERSPEBSI)

**Assalamualaikum warrahmatullahi wabarakatuh,
Salam sejahtera untuk kita semua,**

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena buku yang berisi panduan klinis diagnosis mati otak dapat diterbitkan. Buku berjudul “Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis” ini memuat berbagai pandangan global terkait mati otak menurut literatur dengan harapan agar dapat dimanfaatkan oleh seluruh dokter di institusi masing-masing di Indonesia dalam upaya menghadirkan pelayanan kedokteran yang terbaik sekaligus efisien.

Dalam proses pendeklarasian mati otak, dokter yang bertanggung jawab atas pasien berkewajiban mengikuti standar dan kriteria yang telah ada. Oleh karena itu diperlukan panduan bagi setiap dokter untuk melakukan prosedur diagnosis tersebut. PP PERSPEBSI memandang perlu mengapresiasi, karena buku ini berisi panduan yang mampu memberikan perspektif yang cukup lengkap dan dapat dijadikan sebagai standar pelayanan dalam meningkatkan mutu pelayanan kesehatan di Indonesia. Penyusunan buku ini didasarkan pada acuan dan banyak kriteria yang sebelumnya sudah ada dan diakui oleh dunia dan juga mempertimbangkan pedoman yang telah diterbitkan oleh IDI.

Diharapkan dengan diterbitkannya buku ini, setiap dokter di institusi pelayanan kesehatannya masing-masing, bersedia untuk menjadikan buku ini sebagai referensi dalam mendiagnosis mati otak sebagai bentuk penunjang pelayanan kedokteran kepada masyarakat. Mengingat pesatnya perkembangan dunia kedokteran, kami pun mengharapkan kepada seluruh

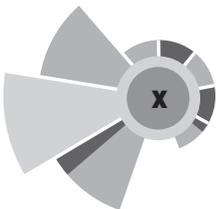


pihak yang terkait untuk dapat bersama-sama memberikan kritik serta saran guna penyempurnaan buku panduan ini, sehingga terus mampu mengikuti perkembangan ilmu kedokteran.

Wassalamualaikum warrahmatullahi wabarakatuh.

Prof. Dr. dr. Abdul Hafid Bajamal, Sp.BS(K)

Ketua Umum



Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis

SAMBUTAN KETUA UMUM PENGURUS PUSAT PERHIMPUNAN DOKTER SPESIALIS SARAF INDONESIA (PP PERDOSSI)

**Assalamualaikum warrahmatullahi wabarakatuh,
Salam sejahtera untuk kita semua,**

Kasus neurologi seperti halnya mati otak adalah termasuk kasus yang masih menjadi perdebatan, baik secara medis maupun yuridis, walau secara empiris hampir semua dokter yang bekerja di rumah sakit khususnya di ruang perawatan intensif (ICU) sering menjumpai kasus ini. Untuk dapat mengatasi masalah kesimpangsiuran dalam mendiagnosis dan mendeklarasikan mati otak khususnya di Indonesia, tentunya diperlukan panduan bagi para sejawat dokter dan praktisi yang terkait di seluruh rumah sakit dan fasilitas kesehatan.

Dalam upaya untuk membantu pengetahuan dan keterampilan dalam diagnosis mati otak di Indonesia, sekaligus membantu pihak lain yang memerlukan informasi mengenai mati otak secara umum, maka saya menyambut baik inisiatif penyusunan buku 'Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis' ini.

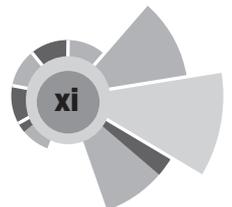
Besar harapan saya bahwa buku acuan ini dapat membantu meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan khususnya neurologi yang terkait dengan kasus mati otak di seluruh fasilitas kesehatan di Indonesia, sehingga dapat meningkatkan mutu pelayanan medis secara efektif dan efisien.

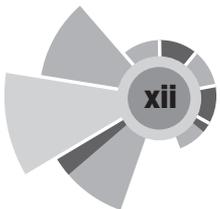
Wassalamualaikum warrahmatullahi wabarakatuh.

Prof. Dr. dr. Moh. Hasan Machfoed, SpS(K), MS.

Ketua Umum

Sambutan Ketua Umum Pengurus Pusat





Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



Daftar Isi

Kata Pengantar—v

Sambutan Ketua Umum Pengurus Pusat Perhimpunan Spesialis Bedah Saraf
Indonesia (PP PERSPEBSI)—ix

Sambutan Ketua Umum Pengurus Pusat Perhimpunan Dokter Spesialis Saraf
Indonesia (PP PERDOSSI)—xi

BAB 1 SEJARAH MATI OTAK—1

Perubahan Konsep: Jantung ke Otak—2

Kriteria Harvard 1968—4

Era 1970 – 1990-an—6

Era Tahun 2000-an—8

BAB 2 KONSEP NEUROLOGI DASAR—11

Fungsi Kesadaran (*Consciousness*)—13

Konsep *Whole Brain Death*—15

Konsep *Brainstem Death*—16

Konsep *Higher Brain Formulation*—17

Konsep *Integrated Anatomy & Physiology*—18

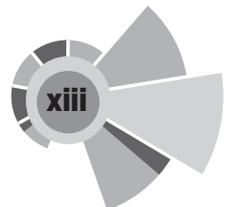
BAB 3 DIAGNOSIS KLINIS—21

Definisi Mati Otak—22

Etiologi & Patogenesis—23

Beberapa Kriteria Mati Otak—25

Prasyarat—28



Pemeriksaan Neurologis —29
Pemeriksaan Fungsi Pernapasan—32
Periode Observasi—34
Pemeriksaan Penunjang (*Confirmatory Test*) —34
Mati Otak pada Anak—36
'Pitfalls' dalam Diagnosis Mati Otak—36

BAB 4 PEMERIKSAAN PENUNJANG—39

Konsep Dasar—41
Indikasi—42
Jenis Pemeriksaan—45

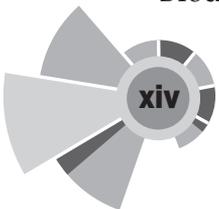
BAB 5 MATI OTAK PADA ANAK—57

Epidemiologi—58
Kriteria Diagnostik—59
Tes Apnea—63
Pemeriksaan Penunjang—64
Proses Pemeriksaan—66
Pertimbangan Khusus—67
Perbedaan Protokol—68

BAB 6 ASPEK ETIK DAN LEGAL—71

Alasan untuk Mendeklarasikan Mati Otak—73
Konsep Timur dan Barat—73
Aspek Etik dan Legal—76
Proses Sertifikasi—77

Daftar Pustaka—81
Glosarium—83
Indeks—105
Lampiran—107
Biodata Penulis—113
Biodata Penerbit—115



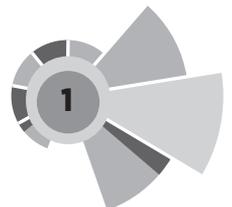


BAB 1

SEJARAH MATI OTAK

Istilah mati otak mempunyai sejarah panjang. Konsep tentang mati otak timbul pertama kali pada pertengahan abad ke-20, seiring dengan perkembangan ilmu kedokteran dan teknologi medis.³ Perkembangan ilmu resusitasi dan perawatan intensif, disertai teknologi mesin bantu napas, menimbulkan permasalahan baru tentang batas antara hidup dan mati secara medis.^{5,6,14} Konsep mati sebelumnya banyak dikaitkan dengan fungsi napas dan jantung, **Rene Laennec** menemukan stetoskop pada tahun 1819 dan bisa melakukan pemeriksaan jantung lebih teliti dan saat itu berhentinya detak jantung dianggap suatu tanda kematian seseorang.¹⁴

Ada suatu cerita, dahulu seorang Raja Inggris berpesan, jika meninggal, dia meminta tidak dikubur dulu sampai 40 hari untuk menentukan bahwa dirinya memang benar-benar sudah mati.^{7,10} Selain itu, terbukti bahwa saat perang Vietnam, banyak prajurit Amerika yang sebenarnya dikubur hidup-hidup.^{7,10} Saat mayat mereka dipindah ke Amerika, dalam peti mati ditemukan bekas guratan-guratan kuku dan di lambungnya ada kain baju yang mungkin



dimakan saat lapar. Mereka dinyatakan mati padahal sebenarnya masih hidup.^{7,10}

Perkembangan ilmu kedokteran juga melaporkan keadaan yang ‘mirip mati’, seperti intoksikasi opiat, keadaan hipotermia, pengaruh obat anastesia, bahkan juga kelainan psikiatri seperti *katalepsy* dan *hypnotic trance*.¹⁴



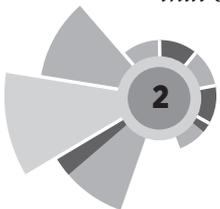
Gambar 1.1 Rene Laennec memeriksa pasien dengan stetoskop.¹⁴

PERUBAHAN KONSEP: JANTUNG KE OTAK

Pada akhir abad ke-19, banyak laporan menunjukkan bahwa saat terjadi keadaan peningkatan tekanan intrakranial, ternyata sering diikuti dengan keadaan henti napas mendadak tetapi jantung tetap berdenyut normal.¹⁴

Horsley pada tahun 1894, melaporkan pasien-pasien dengan perdarahan otak, tumor otak dan fraktur depresi kalvaria, meninggal akibat gagal napas bukan karena gagal jantung.^{11,14} **Harvey Chusing** memberikan pernyataan berdasarkan pengalamannya sebagai seorang dokter bedah saraf, ‘*in death from a fatal increase in intracranial tension the arrest of respiration precedes that of the heart prompt surgical relief, with a wide opening of the calvarium, may*

Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



save life even in desperate cases with pronounced medullary syndrome'.¹⁴ Chusing menunjukkan bahwa fungsi pernapasan dan kehidupan adalah salah satu fungsi otak yang bisa 'diselamatkan' bila mengalami gangguan, salah satunya dengan tindakan pembedahan. Meskipun laporan-laporan awal ini sudah menunjukkan adanya deskripsi tentang mati otak, tetapi konsep berhentinya fungsi jantung selain napas masih digunakan sebagai tanda pasti untuk diagnosis mati. Tahun 1929, **Berger** pertama kali melaporkan penggunaan *electroencephalogram* (EEG) pada manusia.^{11,14} EEG dapat menilai fungsi otak secara langsung tanpa tergantung dari fungsi jantung maupun paru. Pada tahun 1939, **Crafoord** menyatakan bahwa kematian terjadi akibat berhentinya aliran darah ke otak, bukan akibat yang lain.¹⁴



Gambar 1.2 Harvey W. Chusing bersama pasien anak setelah operasi.¹⁴

Pada tahun 1947, **Claude Beck** berhasil melakukan tindakan defibrilasi pada jantung pasien.⁵ Kematian menjadi reversibel, suatu fenomena baru saat itu. **Bower** dan **Bennet** (1950), mengembangkan teknik *positive pressure ventilation*, yang kemudian diikuti produksi mesin napas (*ventilator*) secara besar-besaran.⁵ Keadaan ini menimbulkan dilema baru terkait penanganan

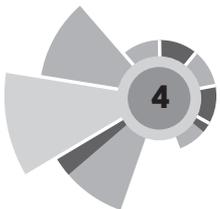
pasien koma dengan kelainan saraf otak yang berat. Pada tahun 1954, **Robert Schwab**, ahli saraf di Massachusetts General Hospital, mulai mengangkat fenomena kasus-kasus pasien koma dengan perdarahan otak berat dalam perawatan dengan alat bantu napas, apakah pasien ini hidup atau sudah mati?⁵ Menurut Schwab, pasien tanpa refleks, tanpa napas spontan, hasil EEG negatif, maka sudah bisa dikatakan mati meskipun jantung dan aliran darah masih ada.⁵ Lima tahun kemudian, **Wertheimer** dan **Jouvet**, menyimpulkan hal yang sama.^{5,14} Koma jenis ini bisa disebut *death of the nervous system*.^{5,14} Pemikiran berbeda disampaikan oleh **Mollaret** dan **Gourdon** (1959), jantung yang berhenti tetap merupakan kriteria mati.^{5,14} Sehingga mereka menyebut dengan istilah '*coma depasse*' atau *beyond coma*, keadaan ini merupakan prognosis menuju kematian tapi belum identik dengan mati.^{5,11,14}

Pada tahun 1963, Schwab mengusulkan kriteria mati, yaitu; (1) pupil dilatasi maksimal bilateral, semua refleks negatif dan tanpa gerakan spontan, (2) apnea, (3) EEG isoelektrik.⁵ Setelah itu semakin banyak isu dan perdebatan tentang penentuan mati di bidang medis. Pada tahun 1965, *American Medical Association* menyelenggarakan kongres nasional pertama di bidang etik dan profesionalisme untuk menentukan konsensus nasional dalam menentukan kriteria mati di Amerika.⁵ Tetapi kontroversi dan perdebatan masih terus berlanjut.

Seiring dengan kontroversi penentuan mati otak, **Guy Alexandre**, seorang *transplant surgeon* dari Belgia juga mengusulkan kriteria mati, yaitu; (1) pupil midriasis bilateral, (2) refleks-refleks negatif, (3) tidak ada napas spontan, (4) tekanan darah turun, dan butuh obat-obat vasopressor, dan (5) EEG *flat* (datar).¹⁴ Kriteria ini sangat membantu dalam pengembangan indikasi dan keberhasilan transplantasi organ. Sejarah mencatat keberhasilan transplantasi jantung pertama di dunia oleh **Christian Barnard** tahun 1967.^{5,14}

KRITERIA HARVARD 1968

Pada bulan September 1967, **Henry Beecher**, seorang ahli anastesi mengangkat kembali isu tentang aspek etik penanganan pasien dengan koma berkepanjangan di ICU.⁵ Beecher menganggap perlu membicarakan kembali



kriteria mati otak dari Schwab dan menentukan protokol yang definitif dan diakui bersama. Pada awal tahun 1968, mulai dibentuk *Ad Hoc Committee* di Harvard University untuk menentukan definisi yang disepakati tentang mati.⁵ Komite Ad Hoc terdiri dari ahli saraf, ahli bedah saraf, ahli ginjal, ahli hukum, ahli neurosains, ahli kesehatan masyarakat, ahli sejarah dan pakar etik.⁵ Komite ini akhirnya sepakat menentukan kriteria mati dengan beberapa parameter.

Tabel 1.1 Kriteria Harvard tentang Mati Batang Otak (1968).⁵

No.	Kriteria
1.	<i>Unreceptivity and unresponsivity</i>
2.	<i>No movements or breathing</i>
3.	<i>No reflexes</i>
4.	<i>Flat EEG</i>
5.	<i>Exclusion of hypothermia and central nervous system depressants</i>

*Semua tes di atas harus diulang dalam 24 jam dengan hasil yang tidak berubah

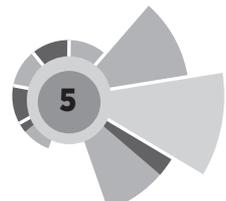
Komite ini tetap berupaya untuk menunjukkan bahwa mati batang otak juga identik dengan mati. Tetapi hal ini tentu saja tidak mudah. Rekomendasi kriteria dari Harvard University ini ternyata masih perlu waktu dan adaptasi untuk bisa diterima oleh praktisi medis dan ahli hukum serta masyarakat secara luas.

Pada akhirnya berkas rekomendasi ini tetap diberi judul '*A Definition of Irreversible Coma*', sebaliknya '*Definition of Brain Death*' hanya digunakan sebagai sub judul saja.⁵ Hal ini menunjukkan bahwa rekomendasi dari Harvard University ini masih belum berani dan kuat untuk mengangkat isu mati batang otak sebagai suatu kriteria baru dalam



Gambar 1.3 Naskah publikasi di JAMA tahun 1968 dari *Harvard Committee* terkait mati batang otak.

Bab 1 • Sejarah Mati Otak



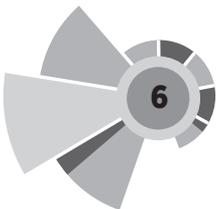
menentukan kematian. Pada tanggal 6 agustus 1968, artikel berjudul 'A Definition of Irreversible Coma: the Report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School to Examine the Definition of Brain Death' akhirnya terbit di *Journal of American Medical Association (JAMA)*.^{5,14} Sejak saat itu istilah mati otak mulai dikenal luas di dunia medis.

ERA 1970 – 1990-AN

Sejak deklarasi Harvard tentang mati batang otak, konsep mati otak mulai banyak dipakai dalam dunia medis. Meskipun masih banyak yang tetap skeptis tentang batas antara hidup dan mati yang tidak bisa dengan mudah ditentukan dengan kriteria mati otak.⁵ Dalam aspek hukum juga sudah mulai diberlakukan kriteria mati otak ini sebagai pertimbangan dalam masalah hukum yang berkaitan dengan kematian.⁵ Tetapi tetap masih banyak variasi protokol yang dilakukan di lapangan disesuaikan dengan aturan dan fasilitas lokal yang ada.

Pada tahun 1971, **Mohandas** dan **Chou** mempublikasikan Kriteria Minnesota berdasarkan hasil autopsi yang menunjukkan kerusakan jaringan lokal pada batang otak dan juga ditandai dengan hasil EEG yang negatif.⁵ Pada tahun 1976, konferensi *Medical Royal College* di Inggris juga menetapkan dengan tegas konsep mati batang otak, karena pusat kesadaran dan pernapasan ada di batang otak maka hilangnya fungsi batang otak sama dengan kematian.⁵ Kriteria yang berbeda, di Inggris cukup dengan klinis mati otak, tetapi di Amerika Serikat harus dengan tambahan hasil pemeriksaan EEG yang negatif. Kriteria koma, apnea dan EEG *flat* tetap dijalankan di Amerika.⁵ Konsep dan filosofi tentang mati batang otak tetap belum disepakati bersama dan perdebatan masih terus berlanjut.

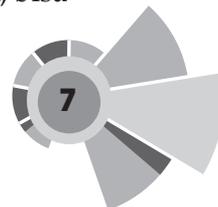
Pada tahun 1979 di Amerika Serikat, Komisi Presiden yang dibentuk terkait *Study of Ethical Problems in Medicine and Biomedical and Behavioral Research* memulai membahas lebih serius tentang polemik mati otak dan isu etik yang terkait, karena sampai saat itu masih banyak perbedaan pendapat di kalangan medis.^{4,5} Komisi ini mempunyai tujuan untuk menetapkan secara komprehensif tentang kriteria mati otak, yang nantinya akan dijadikan



satu acuan secara nasional dan legal di Amerika Serikat.^{4,5} Pada tahun 1981, komisi ini menerbitkan artikel berjudul '*Defining Death: Medical, Legal, and Ethical Issues in the Determination of Death*'.⁵ Salah satu konsep baru yang dikemukakan adalah konsep otak secara utuh (*whole brain*), di mana konsep mati didasarkan pada teori "*when the body's physiological system ceases to constitute an integrated whole and that integration was dependent on the integrity of the brain.*"⁵ Sehingga akhirnya komisi ini mengeluarkan suatu definisi tentang mati dalam bentuk ketentuan *Uniform Determination of Death Act (UDDA)*, yaitu kematian ditentukan oleh keadaan; (1) kegagalan permanen fungsi kardiovaskular dan paru, dan (2) kegagalan permanen semua fungsi otak termasuk batang otak.^{4,5,11,15,21} UDDA ini mendeklarasikan kematian berdasarkan kriteria fungsi kardiovaskular dan fungsi neurologis, tetapi kriteria neurologis tidak ditentukan secara spesifik.

Pada tahun 1994, *American Academy of Neurology (AAN)* berupaya untuk menentukan kembali kriteria neurologis dari mati secara lebih baik dan terstandar. **Eelco Wijdicks**, seorang neurointensivist yang memimpin komisi ini.⁵ Pada tahun berikutnya, dikeluarkan ketetapan tentang parameter praktis untuk menentukan mati otak, tiga parameter itu adalah; (1) koma, (2) tidak adanya refleks batang otak, dan (3) apnea.⁵ Prosedur untuk menentukan keadaan apnea juga dijelaskan secara detail dan merupakan suatu pemeriksaan penunjang (*confirmatory test*) dalam menentukan mati otak.⁵ Juga ditetapkan bahwa pemeriksaan penunjang tidak diharuskan, kecuali bila dari hasil pemeriksaan secara klinis ada yang meragukan.⁵ Bahkan Eelco Wijdicks sendiri kemudian menentang kriteria pemeriksaan penunjang untuk mati otak, karena ternyata dari hasil penelitian tidak didapatkan korelasi antara pemeriksaan penunjang dan hasil pemeriksaan neuropatologi dari autopsi.⁵ Kemudian pada tahun 2010, Wijdicks menyempurnakan parameter praktis ini sehingga lebih seragam.⁵

Sepanjang tahun 1990-an, masih tetap ada perbedaan pendapat tentang konsep *whole brain death* dan *brainstem death* atau mati batang otak. Selain itu istilah mati otak juga diperdebatkan, **Joseph Murray** mengatakan bahwa mati adalah 'mati'.⁵ Adanya tambahan kata otak, bisa menunjukkan arti mati yang belum lengkap (*incomplete type of death*).⁵ Selain itu, istilah mati otak, bisa



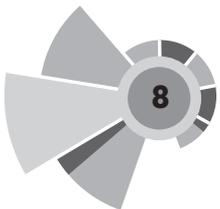
hanya mempunyai arti matinya sel dan jaringan otak saja dan tidak mewakili konsep kematian manusia secara utuh.⁵

ERA TAHUN 2000-AN

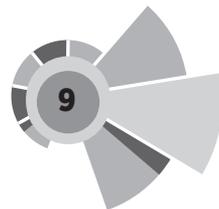
Pada tahun 2000-an masih merupakan era kontroversi dan perbedaan pendapat terutama di luar dunia medis. Pada tahun 2007, komisi bioetik di Amerika kembali membahas tentang hal ini, dan kemudian mengeluarkan artikel tentang '*Controversies in the Determination of Brain Death*'.⁵ Mereka merubah istilah mati otak yang ambigu dengan istilah yang lebih netral secara filosofi yaitu *total brain failure* atau kegagalan otak secara menyeluruh.⁵ Selain itu, komisi ini juga mengakui adanya keterbatasan-keterbatasan dalam menentukan konsep mati secara komprehensif, sehingga selalu ada perdebatan dan tidak ada kesepakatan sampai saat itu. Menurut mereka ada suatu *inner drive* untuk hidup pada manusia, manifestasinya berupa kemampuan untuk bernapas dan kesadaran penuh dalam memahami lingkungan sekitarnya.⁵ Kegagalan otak secara menyeluruh akan mengakibatkan makhluk hidup tidak bisa melakukan aktivitas dasar yang berhubungan dengan kehidupannya sebagai makhluk hidup.⁵

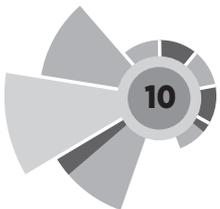
Tetapi konsep ini masih tetap sulit diterima terutama oleh masyarakat di luar dunia medis. Pada tahun 2013, ada kasus di Oakland Hospital, California, di mana seorang anak dinyatakan mati batang otak akibat komplikasi operasi tonsilektomi.^{4,5} Kedua orang tuanya tetap menolak penentuan mati otak dan penghentian alat bantu napas oleh tim medis. Hakim di pengadilan akhirnya meminta tim medis lainnya untuk menentukan kriteria mati berdasarkan parameter baku dari AAN. Tetapi akhirnya, tetap keputusan pengadilan menyatakan anak tersebut bisa dikirim ke rumah sakit lain dengan tetap mendapat terapi suportif untuk mempertahankan 'hidup'-nya sesuai permintaan keluarga.

Konsep mati telah berkembang seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, mulai dari konsep kardiopulmonal yang tradisional sampai konsep berdasarkan fungsi otak. Tetapi sampai sekarang konsep mati otak tetap belum bisa dipahami sepenuhnya, terutama bagi masyarakat awam.



Bahkan dari sisi medis pun masih terdapat banyak kontroversi, sehingga kriteria mati otak pun masih sangat bervariasi sampai sekarang.





Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



BAB 2

KONSEP NEUROLOGI DASAR

Istilah mati otak adalah suatu definisi yang menunjukkan kematian manusia yang ditandai dengan hilangnya fungsi kerja otak secara permanen.^{3,6} Meskipun istilah mati otak sudah disepakati dan diterima secara global, tetapi masih banyak kontroversi yang terkait. Istilah mati otak bisa diartikan hanya kerusakan pada otak, atau bisa ada definisi mati yang lain. Kematian otak apa juga berarti kematian seluruh tubuh secara utuh? Istilah mati otak sebenarnya terjadi akibat suatu perkembangan teknologi di bidang kedokteran.^{3,5} Dimulai pada tahun 1950-an di mana banyak digunakannya alat *positive-pressure ventilator* untuk pasien-pasien kritis dengan apnea dan paralisis.³ Dengan bantuan mesin itu, banyak pasien yang bisa bertahan dengan fungsi jantung dan sirkulasi yang dipertahankan, meskipun penyakit dasarnya sebenarnya sudah tidak bisa diperbaiki lagi. Sebagai contoh kasus, pada saat itu didapatkan pasien dengan apnea akibat kerusakan otak yang masif pasca trauma kepala, dengan pemasangan ventilator dan fungsi hemodinamik bisa dipertahankan di ICU maka pasien ini bisa lama bertahan dengan perawatan intensif.³ Beberapa ahli saat itu memberikan status '*coma depasse*' (*beyond*

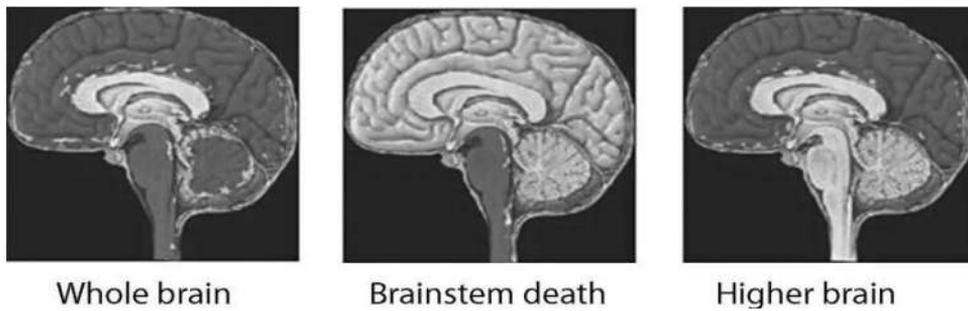
coma) pada pasien dengan keadaan seperti ini.^{3,5,11} '*Coma depasse*' ditandai dengan adanya beberapa fungsi fisiologis yang ada pada keadaan hidup, yaitu detak jantung, sirkulasi, fungsi pencernaan dan fungsi ekskresi.³ Tetapi juga didapatkan keadaan yang berhubungan dengan kematian, seperti tidak ada napas spontan, tidak bergerak dan tidak ada respon refleks.³ Sehingga saat itu timbul keraguan apakah pasien ini hidup atau mati.

Kemudian pada tahun 1968, Kriteria Harvard mencanangkan bahwa '*coma depasse*' dengan kriteria klinis tertentu sudah bisa dinyatakan mati dengan istilah mati otak.^{2,3} Sejak saat itu, istilah mati otak mulai diterima secara universal baik secara etik maupun legal di banyak negara.³ Beberapa konsensus dan perkembangan protokol untuk mati otak sangat bervariasi di banyak negara, yang menunjukkan bahwa masih banyak kontroversi yang terkait dengan diagnosis mati otak.^{1,2,11} Pada prinsipnya, kriteria diagnosis mati otak harus benar-benar sah tanpa *false positive*, dan minimal *false negative*.³

Konsep dasar dari mati otak sangat berhubungan dengan definisi dari kematian itu sendiri dan dari aspek neuroanatomi yang mendasarinya, juga kedua aspek itu bisa dibuktikan berkaitan satu sama lain secara ilmiah. Sampai saat ini, masih banyak perbedaan pendapat tentang konsep dasar dari keadaan mati. Konsep mati yang dihubungkan dengan otak banyak dibahas, dan terdapat tiga formulasi *brain-oriented death* yang sampai saat ini diterima.^{3,14} Tiga formulasi itu adalah berdasarkan *whole brain*, *brainstem death* dan *higher brain formulation*.³

Konsep *whole brain* mengarah ke kriteria kerusakan permanen dari semua fungsi dan struktur intrakranial.^{3,14} Dunia kedokteran sudah menyusun protokol yang praktis memakai kriteria klinis dan pemeriksaan penunjang untuk mendiagnosis mati otak, tetapi pada konsep *whole brain* ini, belum ada teori *framework* yang jelas dan kriteria baku yang bisa mendukung untuk diagnosis mati.¹⁴ Selain itu, konsep ini juga tidak bisa menjelaskan teori dasar tentang lokasi dan jumlah sel-sel neuron yang khusus memang bertanggung jawab untuk kehidupan manusia dan fungsi manusia secara seutuhnya (*organism as a whole*).¹⁴





Gambar 2.1 Tiga konsep mati berkaitan dengan otak. Area gelap menunjukkan bagian otak yang tidak berfungsi.¹⁴

Konsep *brainstem* atau batang otak banyak diadopsi di Eropa dan negara-negara *commonwealth*.¹⁴ Mereka menekankan bahwa fungsi kesadaran dan pernapasan adalah dua hal yang penting dalam kehidupan manusia, dan keadaan mati batang otak bisa menjelaskan hilangnya dua fungsi itu.¹⁴ Tetapi, konsep patofisiologi dari fungsi kesadaran saat ini semakin berkembang dan beberapa pakar berpendapat bahwa konsep *brainstem* ini tidak sesuai lagi untuk definisi mati. Sedangkan konsep *higher brain* lebih mengarah ke keadaan *persistent vegetative state*, di mana konsep ini menekankan definisi mati adalah hilangnya fungsi kesadaran (*consciousness*) akibat kerusakan yang permanen dari struktur neokorteks.¹⁴

FUNGSI KESADARAN (*CONSCIOUSNESS*)

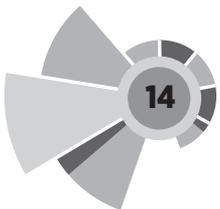
Kesadaran atau *consciousness* pertama kali didefinisikan oleh **William James** pada tahun 1890 sebagai suatu keadaan kepekaan terhadap diri dan lingkungan.¹⁴ Kesadaran yang normal ditandai dengan suatu keadaan bangun/sadar dan peka terhadap diri dan lingkungan sekitar.¹⁴ **Plum** dan **Posner** kemudian juga memberikan definisi yang mirip terhadap kesadaran, yaitu *the state of awareness of self and the environment*.¹⁴

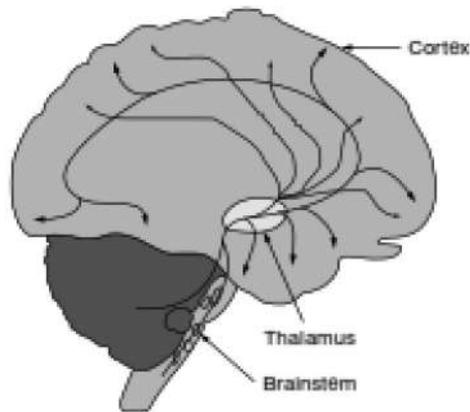
Ada dua aspek yang menentukan fungsi kesadaran, yaitu *arousal* dan *awareness*.¹⁴ *Arousal* adalah suatu pola aktivitas atau perilaku yang terjadi saat seseorang bangun dari tidur atau perilaku saat dalam kesadaran penuh.¹⁴ Salah satu bentuk aktivitas nyata yang terjadi saat bangun adalah buka mata

spontan.¹⁴ Bentuk fungsi kesadaran yang normal membutuhkan fungsi *arousal* dengan fungsi *autonomic-vegetative* melalui stimulus *ascending* dari *tegmentum pontine*, hipotalamus posterior dan thalamus yang akan mengaktifkan *wakefulness*.¹⁴

Sedangkan *awareness*, adalah suatu aktivitas gabungan dari fungsi kognitif dan afektif otak yang akan mempengaruhi pengetahuan seseorang secara individu dan bagaimana memahami kehidupan internal dan eksternal di luar.¹⁴ Banyak yang berpendapat bahwa kesadaran atau *consciousness* mempunyai dua dimensi, yaitu *wakefulness* dan *awareness*.¹⁴ *Awareness* adalah isi dari kesadaran itu sendiri, sedangkan *wakefulness* adalah manifestasi dari *arousal*.¹⁴ Aktivitas *arousal* dilakukan oleh beberapa sel neuron di batang otak yang secara langsung berhubungan dengan sel-sel neuron di thalamus dan kortikal.¹⁴ Sehingga bila terdapat kerusakan pada batang otak atau kedua hemisfer serebral, bisa mengakibatkan gangguan *wakefulness*.¹⁴ Pemeriksaan refleks sangat penting untuk menentukan integritas fungsi batang otak. Tetapi, hilangnya fungsi refleks-refleks batang otak bisa didapatkan pada sistem *reticular activating* yang masih baik dengan *tegmentum* pada rostral pons dan mesensefalon yang masih intak.¹⁴

Arousal tergantung dari integritas fungsi dari *ascending reticular activating system* (ARAS), di mana jaras-jaras ini bermula dari area *reticular core* pada rostral batang otak dan berjalan melalui sinap-sinap menuju thalamus dan korteks serebri.¹⁴ Sedangkan *awareness*, tergantung pada integritas fungsi dari korteks serebri dan koneksinya di area subkortikal seperti basal ganglia dan thalamus.¹⁴ Fungsi kesadaran pada manusia merupakan refleksi dari level *arousal* yang mempengaruhi tingkat *alertness* dan level *awareness* yang merupakan perpaduan antara fungsi kognitif, afektif dan fungsi luhur lainnya, yang mempengaruhi tingkat orientasi, persepsi, konsentrasi, integrasi dan daya ingat.¹⁴





Gambar 2.2 *Ascending Reticular Activating System*. Suatu sistem sinaptik pada otak yang berperan dalam fungsi kesadaran.¹⁴

KONSEP WHOLE BRAIN DEATH

Kriteria ini berdasarkan konsep kematian, dimana terjadi kerusakan permanen dari fungsi-fungsi vital dari organisme sebagai suatu kesatuan sistem.^{3,14} Organisme sebagai suatu kesatuan sistem (*organism as a whole*), berbeda maknanya dengan organisme seutuhnya (*whole organism*), atau kumpulan organ menjadi satu bentuk.³ Tetapi, lebih merupakan suatu karakteristik dari organisme hidup yang membuat maknanya lebih besar dari hanya sekedar sekumpulan organ yang bekerja menjadi satu.³ Konsep ini menekankan bahwa kematian adalah kerusakan permanen dari seluruh fungsi vital dalam otak (*whole brain*). Fungsi vital itu antara lain fungsi pernapasan, kontrol temperatur, keseimbangan cairan dan elektrolit, fungsi kesadaran, perilaku seksual, rasa lapar, sistem neuroendokrin dan fungsi otonom.³ Bernat berpendapat bahwa manusia masih bisa berfungsi seutuhnya meskipun ada beberapa subsistem fungsional yang rusak.^{3,14}

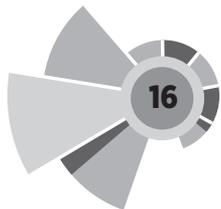
Meskipun berdasarkan istilah seluruh otak harus rusak (*whole brain death*), tetapi konsep ini tidak berarti bahwa seluruh sel neuron dan jaringan otak harus rusak, melainkan hanya fungsi-fungsi otak tertentu yang dinyatakan rusak berdasarkan hasil pemeriksaan klinis dan neurologis. Beberapa

aktivitas seluler otak, yang bisa direkam dengan EEG menunjukkan hasil positif meskipun sudah didiagnosis mati otak.^{1,3,14} Hal ini menunjukkan bahwa masih ada aktivitas sel otak yang bekerja, meskipun bagian sel-sel ini tidak berkontribusi terhadap aktivitas fungsional yang bisa diukur dan mempengaruhi aktivitas kehidupan manusia secara utuh (*organism as a whole*).^{3,14} Melihat hal ini, maka ada ketidakcocokan dengan definisi kematian otak secara menyeluruh. Adanya aktivitas listrik berdasarkan EEG atau masih adanya aktivitas fungsi neuroendokrin tidak sesuai dengan diagnosis mati otak berdasarkan konsep *whole brain death*.^{2,3,14}

Patofisiologi terjadinya kematian otak secara menyeluruh dari cedera awal otak biasanya dimulai dengan terjadinya efek desak ruang yang mengakibatkan herniasi otak, yang kemudian menyebabkan kerusakan permanen yang lebih luas dari sistem saraf fungsional otak.^{2,3} Etiologi yang tersering adalah cedera kepala (trauma), hipoksia-iskemia otak akibat henti jantung, asfiksia, meningoencephalitis atau lesi intrakranial seperti tumor.^{2,3,8} Ketika otak secara menyeluruh mengalami cedera oleh karena kelainan-kelainan di atas, akan terjadi edema otak dalam rongga intrakranial yang rigid yang menyebabkan tekanan intrakranial akan meningkat melebihi *mean arterial pressure* bahkan kadang sampai melebihi tekanan darah sistolik.^{3,21} Pada keadaan ini, sirkulasi intrakranial akan berhenti dan hampir semua sel-sel otak yang awalnya tidak terkena dampak dari cedera awal akan mengalami kerusakan secara sekunder akibat berhentinya aliran darah ke seluruh bagian otak.^{3,21} Konsep dari *whole brain death* bisa mencegah terjadinya *false-positive* diagnosis mati otak karena bisa meyakinkan bahwa seluruh bagian fungsional otak sudah rusak atau mati secara permanen.³ Tidak adanya aliran darah ke rongga intrakranial secara tidak langsung menunjukkan bahwa terjadi kerusakan menyeluruh dari jaringan otak yang menyebabkan seluruh sistem fungsional otak juga pasti rusak dan mati.^{3,21}

KONSEP BRAINSTEM DEATH

Konsep mati batang otak diperkenalkan berdasarkan definisi dari mati yaitu kerusakan permanen dari fungsi vital yang terintegrasi dan menyatu dalam



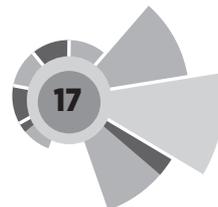
satu organisme.^{3,14} Dalam konsep ini, beberapa ahli berpendapat bahwa kriteria mati harus didasarkan secara praktis, ditandai dengan adanya kerusakan permanen dari fungsi kesadaran dan fungsi pernapasan.^{3,14} **Christopher Pallis**, pakar yang paling menonjol dalam mendukung konsep mati batang otak menyatakan bahwa batang otak adalah area yang berfungsi sebagai 'stasiun pusat' dari hampir semua serabut saraf input dan output kedua hemispher, pusat pengatur kesadaran dan juga pusat pengatur pernapasan.^{3,14} Sehingga kerusakan di batang otak berarti kerusakan fungsional dari otak dan sesuai dengan kriteria kematian. Pallis menyatakan bahwa *the irreversible cessation of brain stem function implies death of the brain as a whole*.^{3,14}

Konsep mati batang otak bukannya tanpa kelemahan. Ada dua aspek yang sering diperdebatkan terkait konsep ini. Aspek pertama adalah tidak adanya kriteria klinis hilangnya fungsi dari diensephalon dan hemisfer serebri, yang bisa menyebabkan kemungkinan terjadinya misdiagnosis, misalnya pada kasus kerusakan batang otak akibat proses patologi lokal yang menyebabkan kerusakan total batang otak, tetapi masih ada aktivitas fungsi kesadaran yang sulit terdeteksi secara klinis.^{3,14} Keadaan ini bisa terjadi dan sering disebut dengan '*super locked-in syndrome*'.³ Aspek kedua adalah tidak dibahas tentang pengaruh berhentinya aliran darah otak, yang menunjukkan konsep kerusakan saraf otak secara global juga tidak diperhitungkan.³ Sehingga secara aplikatif, pemeriksaan penunjang juga tidak direkomendasikan untuk menilai aliran darah otak.³

KONSEP HIGHER BRAIN FORMULATION

Konsep *Higher Brain Death* ini pertama kali diperkenalkan oleh **Robert M. Veatch** pada tahun 1973, yang kemudian terkenal dengan istilah *Higher Brain Formulation*.³ Menurut Veatch, korteks serebri adalah bagian paling penting yang menyebabkan seseorang menjadi manusia hidup seutuhnya dan bukan semata peran dari struktur primitif batang otak. Hilangnya fungsi dari korteks serebri menandakan kematian.^{3,14}

Konsep ini menekankan bahwa mati adalah *the loss of that which is significant to the nature of man*, sehingga bila terjadi kerusakan otak dan menyebabkan

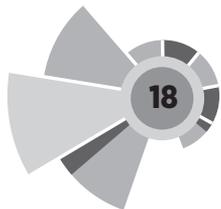


hilangnya fungsi persepsi, empati dan kognitif, maka sudah cukup kuat untuk mendukung diagnosis mati otak.^{3,14} **Bartlett** dan **Younger** menekankan konsep bahwa hanya fungsi otak luhur, kesadaran dan fungsi kognitif-lah yang menentukan hidup dan mati seseorang.¹⁴ **Robert Veatch**, menekankan lebih jauh bahwa kehidupan seseorang ditentukan oleh beberapa fungsi yaitu; rasionalitas, kesadaran, identitas diri dan interaksi sosial.³ Veatch menolak ide bahwa mati harus berdasarkan konsep biofilosofi, yaitu hilangnya kapasitas dari seseorang untuk mengintegrasikan fungsi-fungsi dalam tubuhnya.³ **Calixto Machado** mengatakan bahwa mati harus didefinisikan dengan jelas, dan dia mengusulkan konsep bahwa mati adalah hilangnya fungsi dan kapasitas seseorang untuk melakukan interaksi sosial dengan sekitarnya.¹⁴ Meskipun konsep ini sudah lama dikenal, tetapi sampai sekarang belum ada yang sepakat dan menggunakan kriteria ini secara jelas dalam menentukan diagnosis mati.

Berdasarkan konsep *Higher Brain* ini, maka keadaan *persistent vegetative state* (PVS) sudah bisa dinyatakan mati.^{3,14} Keadaan PVS memang menunjukkan disabilitas total dan fungsi kognitif yang hilang, tetapi sampai saat ini kultur masyarakat dan aspek hukum serta semua organisasi medis sepakat menyatakan bahwa itu semua belum cukup untuk menunjukkan suatu kematian.³ Konsep *Higher Brain* ini jelas tidak sesuai dengan konsep mati, karena tidak sesuai dengan prinsip dasar dari paradigma kematian, di mana membuat masukan baru terhadap definisi mati yang secara konsensus sudah disepakati dan bukan malah membuat definisi baru tentang mati.^{3,14} Konsep *Higher Brain* jelas merupakan sebuah definisi baru dari kematian, karena tidak sesuai dengan realitas secara biologis dan juga tidak konsisten dengan hukum dan kultur tentang kematian yang sudah disepakati.³

KONSEP INTEGRATED ANATOMY & PHYSIOLOGY

Botkin dan **Post** menunjukkan perbedaan besar antara kelompok mayor dan kelompok minor yang berhubungan dengan kehidupan.¹⁴ Sebagai contoh, seseorang yang sudah didiagnosis mati otak tetap menunjukkan tanda-tanda kehidupan seperti detak jantung, kulit hangat, fungsi ginjal dan



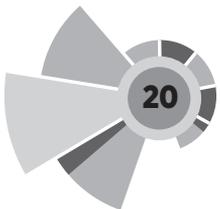
lainnya.¹⁴ Meskipun kematian sudah ditunjukkan dengan berhentinya fungsi kardiopulmonal, tetapi beberapa tanda-tanda kehidupan seperti pertumbuhan rambut dan kuku masih terjadi dalam beberapa hari.¹⁴

Cranford menyatakan bahwa hal yang paling mendasar adalah bahwa kesadaran (*consciousness*) adalah standar utama secara moral, legal dan konstitusional tidak hanya dalam hidup, tetapi sebagai manusia seutuhnya yang berinteraksi dengan lingkungannya.¹⁴ Sehingga kelompok mayor atau paling utama yang mendasari suatu kehidupan adalah kesadaran.¹⁴ Calixto Machado memberikan konsep tentang mati yang berbeda dengan sebelumnya, yaitu *irreversible loss of the consciousness which provides the key human attributes and the highest level of control in the hierarchy of integrating functions within the human organism*.¹⁴ Menurut konsep ini, kesadaran adalah aspek yang paling berkontribusi dan paling utama terhadap kehidupan. Tanpa kesadaran, maka hidup tidak ada nilai dan esensinya. Selain itu, kesadaran merupakan aspek utama dalam mengintegrasikan seluruh fungsi yang ada di dalam tubuh.¹⁴ Kesadaran bukan merupakan suatu fungsi aktivitas otak tertentu yang melibatkan *higher* dan *lower brain* secara sederhana dan berlandaskan pada substrat anatomi tertentu, tetapi lebih merupakan suatu konsep anatomi dan fisiologi otak yang bekerja secara terintegrasi dan melibatkan seluruh bagian otak.¹⁴ Konsep ini merupakan salah satu teori baru, penulis mengusulkan konsep ini dengan istilah *Integrated Brain Anatomy & Physiology*.

Tabel 2.1 Perbandingan Konsep Mati Otak.¹⁴

Kriteria	Definisi	Aspek Anatomi	Tes
Whole Brain	Berhentinya fungsi organisme secara keseluruhan dan permanen	Seluruh jaringan otak rusak secara permanen	Tidak adanya pernapasan dan detak jantung secara permanen Pemeriksaan lain yang menunjukkan adanya kerusakan otak

Kriteria	Definisi	Aspek Anatomi	Tes
Brainstem	Hanya ada satu jenis kematian manusia: hilangnya kesadaran, dikombinasikan dengan hilangnya kemampuan untuk bernapas secara permanen (mungkin detak jantung masih ada)	Hilangnya fungsi batang otak secara permanen	Apnea dan hilangnya refleks batang otak secara permanen, dengan syarat semua faktor penyebab disfungsi batang otak yang lain sudah dihilangkan
Higher Brain	Hilangnya fungsi yang signifikan terkait sifat alami manusia	Hilangnya secara permanen fungsi dari neokorteks	Tidak adanya fungsi kognitif dan afektif
Integrated Brain Anatomy & Physiology	Hilangnya kesadaran secara permanen, yang merupakan fungsi utama dari kehidupan dan merupakan kontrol tertinggi dalam hierarki pengintegrasian semua fungsi biologis pada manusia	Kerusakan permanen dari jaringan dan fungsi di seluruh bagian otak yang berkaitan dengan kesadaran	Tidak responsif dan tidak reaktif terhadap rangsangan, serta tidak adanya fungsi kognitif dan afektif





BAB 3

DIAGNOSIS KLINIS

Meskipun kriteria diagnosis mati otak masih sangat bervariasi dan berbeda antar negara maupun institusi,^{1,3,7} tetapi secara umum ada beberapa protokol dasar yang harus diketahui dan relatif tidak jauh berbeda untuk diterapkan. Diagnosis klinis melalui pemeriksaan fisik dan neurologis adalah bagian yang sangat penting dalam menegakkan diagnosis mati otak.^{1,2,3,15,21} Untuk mencegah kesalahan dalam diagnosis, praktisi medis harus benar-benar mengetahui detail teknik pemeriksaan dan interpretasinya. Protokol lokal harus dijalankan untuk mencegah kesalahan dan secara legal juga bisa dipertanggung jawabkan.

DIAGNOSIS MATI

Metode untuk mendiagnosis mati didasarkan pada ditemukannya tanda-tanda kematian, yang bervariasi tergantung pada kondisi, konsep mati yang mendasari dan bidang medis yang terkait.¹⁴ Diagnosis suatu kematian didasarkan pada tanda-tanda klinis sebagai berikut:¹⁴

1. Berhentinya fungsi pernapasan secara permanen

2. Berhentinya fungsi kardiosirkulasi secara permanen
3. Algor mortis (*postmortem coldness*)
4. Livor mortis (*postmortem lividity*)
5. Rigor mortis (*postmortem rigidity*)
6. *Cadaveric spasm*
7. Hilangnya kontraksi otot
8. Pembusukan (*Putrefaction*)
9. Berhentinya fungsi otak secara permanen.

Tanda-tanda kematian di atas merupakan sebuah tanda yang secara klinis, di bidang medis menunjukkan seseorang telah meninggal dunia. Tanda kematian pertama dan kedua adalah tanda klasik suatu kematian yang biasanya secara sosiokultural, masyarakat umum mengenalnya. Tanda-tanda ini biasanya ditemukan saat perawatan di bangsal rumah sakit atau kadang di unit gawat darurat.¹⁴ Beberapa kasus kematian di luar rumah sakit juga banyak didasarkan pada tanda-tanda ini.¹⁴ Tanda-tanda nomer 3 sampai nomer 8 sering berkaitan dengan tanda kematian dari aspek kedokteran forensik.¹⁴ Tanda-tanda ini sering dihubungkan dengan penentuan kematian yang berhubungan dengan pemeriksaan forensik terkait aspek hukum.¹⁴ Tanda klinis nomer 9 berhubungan dengan konsep mati otak yang akan dibicarakan secara detail dalam bab ini. Pemeriksaan tanda mati otak ini dilakukan di ruang perawatan intensif (ICU) di mana pasien menggunakan bantuan mesin napas dan obat-obat penunjang lainnya.

DEFINISI MATI OTAK

Mati otak didefinisikan sebagai tidak berfungsinya seluruh bagian otak termasuk batang otak secara permanen.^{1,3,6,9,11,15,21} Dengan menggunakan definisi ini, istilah otak mencakup baik hemisfer serebri (korteks dan struktur dalam), otak kecil serta batang otak.^{6,9,21} Menurut *The Uniform Determination of Death Act* (UDDA) tahun 1980, dinyatakan bahwa bila seseorang mengalami; (1) berhentinya fungsi napas dan jantung secara permanen, atau (2) berhentinya





Gambar 3.1 Lukisan yang menunjukkan 'pemakaman prematur' akibat diagnosis mati yang terlalu dini dan tidak adekuat.³

seluruh fungsi otak termasuk batang otak secara permanen, maka seseorang tersebut sudah bisa dinyatakan mati.^{1,5,15,21}

Tampaknya, secara umum telah diterima bahwa fungsi otak dapat mewakili adanya kehidupan, sedangkan fungsi kardiopulmonal tanpa fungsi otak, tidak cukup untuk mewakili kehidupan.⁶ Definisi tradisional tentang kematian juga menyiratkan mati otak, karena berhentinya fungsi kardiopulmonal pasti menyebabkan kematian otak juga dalam beberapa menit.⁶ Jadi, sebenarnya tidak ada dua konsep kematian yang berbeda, kematian dan mati otak adalah sama.⁶ Tetapi, bisa ada kriteria yang berbeda untuk mendiagnosis mati otak.⁶ Dunia medis saat ini menerima bahwa kematian otak adalah sama dengan kematian seseorang.⁶

ETIOLOGI & PATOGENESIS

Secara umum, terjadinya mati otak adalah akibat proses intrakranial maupun ekstrakranial.²¹ Proses intrakranial bisa berupa proses lokal maupun global atau kelainan iskemia atau perdarahan.²¹ Kelainan ekstrakranial yang sering

terjadi adalah penyakit jantung paru yang menyebabkan berkurangnya pasokan oksigen dan nutrisi ke jaringan otak.^{3,21} Keadaan hipoksia-iskemik mengakibatkan terjadinya gangguan osmolaritas selular, yang kemudian menyebabkan edema otak.^{3,15,21} Karena tulang kalvaria yang rigid, maka edema otak ini akan menyebabkan gangguan aliran darah ke intrakranial yang semakin menyebabkan keadaan hipoksia otak.^{3,21} Bila tidak tertangani dengan baik, akan terjadi peningkatan tekanan intrakranial yang menekan seluruh otak, batang otak dan sistem pembuluh darah.^{2,3,8,21} Kematian sel akan meluas, yang pada akhirnya akan menyebabkan mati otak setelah fungsi batang otak benar-benar tidak ada.^{3,21} Proses ini biasanya terjadi dengan pola rostrokaudal, dari mesensefalon ke medulla oblongata.¹⁵ Keadaan cedera otak yang berat bisa bersifat permanen sejak awal, tetapi untuk menegakkan diagnosis mati otak perlu dilakukan pemeriksaan neurologis yang lengkap dan juga butuh periode waktu untuk observasi.^{8,15} Penyebab intrakranial dari mati otak pada orang dewasa yang tersering adalah trauma kepala dan stroke perdarahan subarakhnoid.²¹

Tabel 3.1 Etiologi Penyebab Mati Otak.¹⁵

1. Infeksi: meningitis, ensefalitis
2. Trauma Kepala : <i>cerebral contusion</i> , perdarahan ekstraserebral atau intraserebral, <i>diffuse axonal injury</i>
3. Lesi intrakranial yang menyebabkan peningkatan tekanan intrakranial: tumor, kista, abses, hidrosefalus obstruktif
4. Hipoksia otak: <i>cardiopulmonary arrest</i> , tenggelam, hipoksia akibat keracunan karbon monoksida atau sianida, cekikan di leher, <i>sudden infant death syndrome</i>
5. Kelainan vaskular: infark masif, perdarahan otak, trombosis sinus vena, emboli
6. Keracunan: Insektisida, obat-obat tertentu, timbal, alkohol, penyalahgunaan obat
7. Gangguan metabolik: sindrom reye, ketoasidosis diabetik, ensefalopati hepatik, uremia, gangguan oksidasi asam lemak, gangguan mitokondria

Pada penelitian histopatologis melalui autopsi, cedera iskemik sedang sampai berat pada otak dapat dilihat komplikasi dan luas kerusakannya.¹⁵ Kerusakan jaringan pada korteks serebri dan basal ganglia didapatkan masing masing 53% dan 68%. Pada thalamus 34%, midbrain 37%, pons 37%, medulla



oblongata 40% dan pada serebellum 52% dari total kasus yang diteliti.¹⁵ Hasil neuropatologi ini menunjukkan variasi kerusakan berdasarkan area anatomis di otak, sehingga kriteria mati otak secara umum sebenarnya banyak didasarkan pada konsep fungsional daripada konsep struktural anatomis.¹⁵

BEBERAPA KRITERIA MATI OTAK

Kriteria Harvard (1968)⁶

Kriteria Harvard adalah kriteria yang pertama kali diusulkan dan diterima di dunia medis, karena itu, kriteria ini tetap menjadi salah satu kriteria yang paling penting terkait dengan diagnosis mati otak sampai saat ini. Kriteria Harvard mendefinisikan koma permanen sebagai berikut:

1. Tidak adanya kontak maupun respon.
2. Tidak adanya gerakan ataupun pernapasan.
3. Tidak adanya refleks.
4. EEG Isoelektrik.

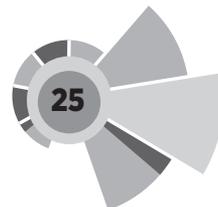
Semua tes di atas harus diulang setidaknya 24 jam kemudian tanpa adanya perubahan.

Kriteria Minnesota (1971)⁶

Kriteria Minnesota dinilai unik karena penekanannya lebih kepada penilaian klinis. **Mohandas** dan **Chou** adalah dua orang yang telah merumuskan kriteria ini.

Kriteria Minnesota adalah sebagai berikut:

1. Tidak adanya gerakan spontan.
2. Tidak adanya respirasi spontan.
3. Tidak adanya refleks batang otak.
4. Semua temuan di atas tetap tidak berubah selama setidaknya 12 jam.
5. Mati otak dapat diumumkan hanya jika proses patologis yang bertanggung jawab atas status 1 sampai 4 di atas dianggap tidak dapat diperbaiki dengan peralatan/sarana yang tersedia.



Kriteria United Kingdom / Inggris (1976)⁶

Kriteria mati otak di Inggris didasarkan pada konsep mati batang otak yang dinilai oleh pemeriksaan klinis, dengan penekanan pada beberapa prasyarat, tidak adanya refleks batang otak, apnea serta tidak membutuhkan pemeriksaan EEG.

Mati otak harus dipertimbangkan dalam kondisi berikut:

1. Pasien mengalami koma yang dalam (*deeply comatose*).
2. Pasien dirawat menggunakan alat bantu napas karena pernapasan spontan sudah tidak memadai atau sudah berhenti sama sekali.
3. Tidak diragukan lagi bahwa kondisi pasien disebabkan oleh kerusakan otak struktural yang permanen.
4. Tidak adanya refleks batang otak.
5. Kriteria meliputi: pengulangan uji (dengan interval 24 jam), integritas refleks spinal, tidak perlu melakukan EEG atau angiografi serebral, suhu tubuh lebih dari 35°C, keputusan dibuat oleh dua dokter yang menjadi penanggung jawab.

The Collaborative Study (National Institutes of Health, 1977)⁶

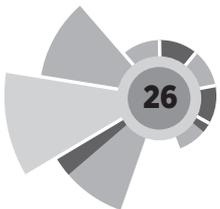
Kriteria yang harus nampak selama 30 menit, setidaknya 6 jam setelah timbulnya koma dan apnea, adalah sebagai berikut:

1. Koma dengan otak yang tidak responsif
2. Apnea
3. Tidak adanya refleks *cephalic* dan pupil yang melebar
4. EEG isoelektrik
5. Diagnosis harus divalidasi dengan pemeriksaan aliran darah otak.

The President's commission for the Study of Ethical Problems in Medicine and Biomedical and Behavioral Research (1981)⁶

Kriteria tersebut adalah sebagai berikut:

1. Seseorang dengan berhentinya fungsi sirkulasi dan pernapasan secara permanen, maka sudah bisa dinyatakan mati.



2. Seseorang dengan berhentinya fungsi seluruh otak (termasuk batang otak) secara permanen adalah mati. Keadaan tersebut diketahui ketika fungsi otak dan batang otak tidak ada. Ireversibilitas diketahui ketika penyebab koma berhasil diidentifikasi, kemungkinan untuk sembuh tidak ada dan hilangnya fungsi otak tetap permanen dalam periode observasi tertentu.
3. EEG dan pemeriksaan aliran darah mungkin masih diperlukan, tergantung pada keadaan.

Kriteria Swedia (Kementerian Kesehatan dan Sosial Swedia, 1984)⁶

Kriteria dari Swedia ini dipengaruhi oleh implikasi mati otak akibat infark otak total seperti yang dijelaskan oleh **Ingvar** dan **Widen**, sehingga menekankan pada pemeriksaan angiografi serebral.

1. Penyebab kondisi ini harus diketahui. Keadaan intoksikasi dan hipotermia harus dikeluarkan
2. Pemeriksaan neurologis klinis, dilakukan setidaknya dua kali dengan selang waktu dua jam. Termasuk; keadaan koma, pupil yang tidak reaktif, hilangnya refleks kornea, tidak adanya gerakan spontan, tidak adanya refleks otak dan jantung serta berhentinya fungsi napas spontan
3. Pemeriksaan tambahan EEG menunjukkan tidak adanya aktivitas listrik
4. Angiografi serebral menunjukkan tidak adanya sirkulasi darah otak.

Kriteria Jepang (Brain Death Study Group, Ministry of Health and Welfare, 1987)⁶

1. Prasyarat: lesi organik yang tidak dapat diperbaiki terdeteksi dengan CT scan. Pengecualian: anak-anak di bawah usia 6 tahun, hipotermia, keracunan obat atau gangguan metabolisme.
2. Koma dalam: skor 300 *Japan Coma Scale* dan skor 3 *Glasgow Coma Scale*
3. Apnea dikonfirmasi dengan tes apnea.
4. Tidak adanya refleks batang otak.
5. EEG Isoelektrik.
6. Kriteria sebelumnya (1-5) harus ada selama 6 jam, atau lebih lama jika diperlukan.

Kriteria Indonesia (Indonesian Medical Association, 1988)^{6,7}

Indonesian Medical Association (IDI) menyatakan bahwa seseorang yang telah mengalami; (1) Berhentinya fungsi sirkulasi dan pernapasan secara permanen dan (2) Berhentinya semua fungsi otak (termasuk batang otak) secara permanen, telah dianggap mati.

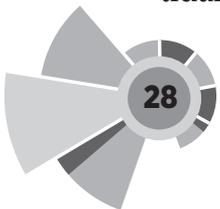
Kriteria mati otak menurut IDI adalah sebagai berikut:⁶

1. Prasyarat: Kerusakan otak struktural yang telah diketahui dan bersifat permanen, koma, dan dalam kondisi apnea. Keracunan obat, hipotermia, dan gangguan metabolisme tidak termasuk.
2. Tidak adanya refleks batang otak.
3. Apnea dikonfirmasi dengan tes apnea.
4. Semua tes di atas harus diulang setidaknya 25 menit hingga 24 jam kemudian tanpa adanya perubahan, atau tergantung pada protokol masing-masing institusi.

Sampai saat ini, kriteria mati otak masih sangat bervariasi di antara masing-masing negara bahkan institusi.^{1,3,21} Beberapa kriteria penting yang sudah disepakati adalah adanya prasyarat tertentu sebelum mendiagnosis, tidak adanya refleks batang otak dan periode observasi tertentu untuk deklarasi mati otak. Setelah melihat kriteria di atas, jelas bahwa mati otak adalah konsep klinis yang dapat diterapkan melalui temuan klinis dan pemeriksaan tambahan yang sesuai jika diperlukan.⁶

PRASYARAT

Sebelum diagnosis mati otak dilakukan, ada beberapa prasyarat penting yang harus dipenuhi. Pertama, penyebab koma harus dicari dan diketahui.^{6,9,21} Tanpa mengetahui penyebabnya, diagnosis mati otak tidak boleh dilakukan.⁶ Harus dipastikan bahwa kondisi pasien adalah karena kerusakan otak struktural yang tidak dapat diperbaiki.^{6,9,15} Pada intinya, pasien harus berada dalam keadaan koma yang tidak responsif tanpa adanya penyebab ekstrakranial yang reversibel dan bergantung pada alat bantu napas karena napas spontan tidak memadai atau bahkan tidak ada.^{6,15} Kriteria lain adalah normothermia, tidak adanya pengaruh obat penenang, tidak adanya intoksikasi maupun



syok kardiovaskular.^{1,6,9,21} Ketika batang otak dan pusat hipotalamus rusak, regulasi termal dan kontrol vasomotor mungkin bisa terganggu sehingga mempersulit pemeriksaan.^{6,9}

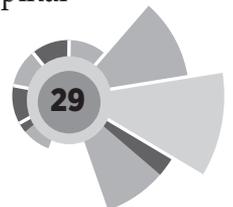
Tabel 3.2 Kondisi dan obat yang harus dihindari sebelum proses diagnosis mati otak.¹⁷

Syok / hipotensi	
Hypotermia < 32° C	
Obat-obatan:	Obat Anastesi
	Obat Paralisis Otot
	Methaqualone
	Obat Tidur / Sedatif
	Diazepam
	Bretylium Dosis Tinggi
	Mecloqualone
	Amitriptyline
	Meprobamate
	Trychloroethylene
	Alkohol
Ensefalitis	
Sindrom Guillan-Barre	
Ensefalopathy Metabolik	
Hipofosfatemia Berat	

PEMERIKSAAN NEUROLOGIS

Koma

Salah satu kriteria mati otak adalah *koma*, yang ditandai dengan keadaan tidak sadar dan tidak respon terhadap stimulus dari luar.^{2,21} Penilaian kesadaran bisa dilakukan sejak awal dengan *Glasgow Coma Scale* (GCS), GCS dengan nilai 3 (tidak membuka mata, tidak ada suara dan tidak ada gerakan motorik baik secara spontan maupun dengan rangsangan) menunjukkan keadaan koma dalam (*deeply comatous*).² Rangsangan nyeri tidak akan menimbulkan respon motorik kecuali timbul gerakan akibat refleks spinal.^{2,11} Rangsangan nyeri bisa dilakukan dengan menekan sternum atau menekan area supraorbital, respon positif bila terjadi gerakan pada ekstremitas atau wajah.² Refleks spinal



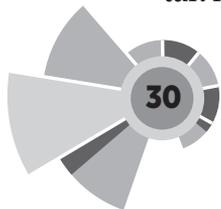
dilaporkan terjadi pada 13% sampai 79% kasus mati otak.²¹ *Lazarus Sign* adalah fenomena klinis yang dramatis, yang terjadi pada kasus mati otak, di mana terjadi refleks gerakan fleksi pada pinggang seperti mau duduk.^{11,21} Refleks ini jarang terjadi, tetapi bisa didapatkan saat tes apnea, tes okulocephalik, saat rangsangan nyeri atau pada saat mesin napas dilepas.²¹ Refleks-refleks spinal bisa terjadi setelah mati otak ditegakkan dan bisa memberikan misinterpretasi terkait mati otak bagi dokter maupun keluarga.

Salah satu diagnosis banding dari koma adalah *Locked-In Syndrome*, suatu keadaan klinis yang mirip koma akibat infark pada pons bagian ventral.^{10,21} Kelainan ini sering diakibatkan oleh emboli akut pada arteri basilaris.²¹ Sindroma ini ditandai dengan quadriplegia, paralisis *lower cranial nerve*, dan *mutism* dengan fungsi minimal dari gerakan bola mata *vertical gaze* dan gerakan kelopak mata atas.^{10,21} Pada tahun 1986, definisi sindroma ini dirubah menjadi quadriplegia, anarthria dengan kesadaran yang masih baik.²¹ Kriteria *mutism* hanya merupakan ketidakmampuan untuk berbicara, sehingga pasien sebenarnya bisa berkomunikasi meskipun hanya dengan bahasa isyarat.²¹ *Locked-In* bermakna terkunci dalam tubuh, meskipun sadar penuh, tetapi mempunyai keterbatasan dalam berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya.²¹ Kesadaran yang masih baik ini terjadi karena area tegmentum dan *reticular formation* relatif masih intak.²¹

Refleks Batang Otak

Refleks batang otak mencerminkan fungsi dari batang otak, melibatkan jalur saraf dari midbrain ke medulla oblongata.⁶ Hilangnya refleks batang otak total menunjukkan adanya disfungsi sistem saraf pusat.^{2,6,21} Meskipun fungsi pernapasan adalah salah satu refleks batang otak yang paling penting, penentuan hilangnya napas spontan yang permanen memerlukan pembahasan tersendiri.⁶ Mati otak jelas berbeda dari keadaan vegetatif, karena mati otak membutuhkan ketiadaan semua refleks batang otak. Dalam keadaan vegetatif dan sindrom apallic, refleks batang otak seringkali ada dan dengan adanya refleks batang otak tersebut, maka secara otomatis tidak bisa disebut mati otak.⁶

Refleks batang otak yang paling penting adalah pupil.^{2,6} Refleks lain yang tak kalah penting adalah refleks okulocephalik, okulovestibular dan refleks



batuk.^{2,6} Seperti disebutkan sebelumnya, konsep mati batang otak menekankan tidak adanya refleks batang otak. Meskipun refleks batang otak secara umum mudah untuk diperiksa, ada beberapa kondisi di mana harus dievaluasi secara hati-hati.² Obat antikolinergik dan penghambat neuromuskular dapat melebarkan dan mengecilkan pupil.⁶ Refleks okulovestibular dapat dipengaruhi oleh obat-obat ototoksik seperti antibiotik, antidepresan dan antikonvulsan.⁶

Tabel 3.3 Pemeriksaan Refleks Batang Otak.²

Refleks Batang Otak	Saraf Kranial dan Area Otak yang Terlibat	Teknik Pemeriksaan	Temuan yang Konsisten dengan Mati Otak
Pupil	Saraf optikus (II) Saraf okulomotor (III) Midbrain	Menilai ukuran dan bentuk pupil di ruangan yang sedikit gelap. Dilakukan stimulus dengan cahaya terang ke masing-masing mata dan dinilai reaksi pupil pada masing-masing mata.	Pupil melebar ke kisaran diameter 4-9 mm, tidak reaktif terhadap cahaya terang, dan berada pada posisi tengah dalam orbita.
Kornea	Saraf okulomotor (III) Saraf trigeminal (V) Saraf facialis (VII) Pons	Usap kornea pelan-pelan dengan kapas steril.	Tidak ada kedipan mata sebagai respon terhadap stimulasi kornea.
Okulocephalik	Saraf okulomotor (III) Saraf trochlear (IV) Saraf vestibulocochlear (VIII) Pons dan midbrain	Kontraindikasi pada cedera spinal terutama servikal. Kepala pasien diputar secara cepat ke kedua sisi dan diamati adanya gerakan mata relatif terhadap orbita.	Tidak didapatkan gerakan bola mata.

Refleks Batang Otak	Saraf Kranial dan Area Otak yang Terlibat	Teknik Pemeriksaan	Temuan yang Konsisten dengan Mati Otak
Okulovestibular (kalori dingin)	Saraf okulomotor (III) Saraf trochlear (IV) Saraf abducens (VI) Saraf vestibulocochlear (VIII) Pons dan midbrain	Kontraindikasi bila ada ruptur membran timpani dan deposit cerumen. Posisi kepala dinaikkan 30° (jika tidak ada kontraindikasi untuk melakukannya). Disemprotkan 50 cc air dingin ke masing-masing saluran telinga secara bergantian dan diamati pergerakan mata atau terjadi deviasi.	Tidak adanya gerakan mata selama 1 menit setelah irigasi dari setiap saluran telinga.
Batuk/Muntah	Saraf glossopharyngeal (IX) Saraf vagus (X) Medulla Oblongata	Refleks muntah: merangsang faring posterior dengan alat <i>suction</i> (area mulut dan faring). Refleks batuk: Menggunakan <i>tube endotracheal</i> dimasukkan ke trakhea sampai kedalaman carina (dirangsang dengan kateter <i>suction</i>).	Tidak ada respon muntah atau batuk terhadap rangsangan

PEMERIKSAAN FUNGSI PERNAPASAN

Tes konfirmasi apnea adalah tes yang paling penting dalam mendiagnosis mati otak, dan tenaga medis harus sepenuhnya memahami tes ini.^{2,6} *Apnea* adalah tanda indikasi awal terjadinya mati otak, biasanya terjadi sebelum tanda-tanda gangguan aliran darah muncul.⁶ Dalam situasi ini, fungsi napas menjadi sepenuhnya bergantung pada alat bantu napas mekanis.^{2,6} Tes apnea harus dilakukan tanpa membuat pasien mengalami risiko anoksia setelah



semua kriteria lain telah dipenuhi.^{2,6,21,23} Prinsip oksigenasi apnea telah dikenal dalam praktek anastesi sejak tahun 1950-an.⁶ Namun, teknik ini baru menjadi populer setelah banyak digunakan untuk penentuan mati otak.⁶ Tujuan dari tes apnea adalah untuk meningkatkan PaCO₂ secara cukup untuk merangsang pusat pernapasan di medulla oblongata, sambil mempertahankan PaCO₂ pada tingkat yang aman.^{2,6,23} Tingkat PaCO₂ yang cukup untuk menginduksi upaya pernapasan adalah pada level 55-60mmHg.⁶ Selama tes apnea, analisis gas darah berulang sangat disarankan, biasanya PaCO₂ bertambah sekitar 2,5-4,3 mmHg/menit.

Tes apnea harus dilakukan secara ketat mengingat pentingnya dalam memenuhi kriteria mati otak.^{2,6,23} Waktu yang diperlukan untuk tes apnea tergantung pada keadaan oksigenasi dan suhu tubuh sebelumnya.⁶ **Ropper** melaporkan pada beberapa kasus adanya gerakan lengan, bahu dan dada secara spontan selama tes apnea, yang menyerupai gerakan pernapasan.⁶ Gerakan-gerakan ini diyakini timbul pada tingkat spinal dan mungkin masih konsisten dengan diagnosis mati otak.⁶

Tabel 3.4 Tes Apnea.¹²

1. Pre-oksigenasi setidaknya 10 menit dengan O ₂ 100% dan pada saat yang sama sesuaikan mesin napas sehingga PaCO ₂ berada pada kisaran 40 mmHg.
2. Lepaskan mesin napas (respirator) dan berikan O ₂ pada 8 hingga 12 L / menit dengan kanula trakhea.
3. Jika hipotensi dan/atau aritmia timbul sewaktu-waktu, hentikan tes dan letakkan pasien segera kembali ke mesin napas. Jika ini terjadi, tes EEG, tes aliran darah otak atau evaluasi kembali harus dilakukan.
4. Selama pemindahan dari mesin napas, pasien harus diamati secara terus menerus untuk respirasi spontan. Jika tidak terjadi apapun dalam 10 menit, ambil gas darah dan tempatkan pasien kembali ke mesin napas. PaCO ₂ harus lebih tinggi dari 60 mmHg untuk memastikan stimulasi pusat pernapasan meduler secara maksimal. Jika PaCO ₂ lebih besar dari 60 mmHg dan tidak ada upaya pernapasan, maka pasien berada pada kondisi apnea.
5. Jika didapatkan ada upaya pernapasan maka pasien tidak apnea dan dinyatakan tidak mati otak.

PERIODE OBSERVASI

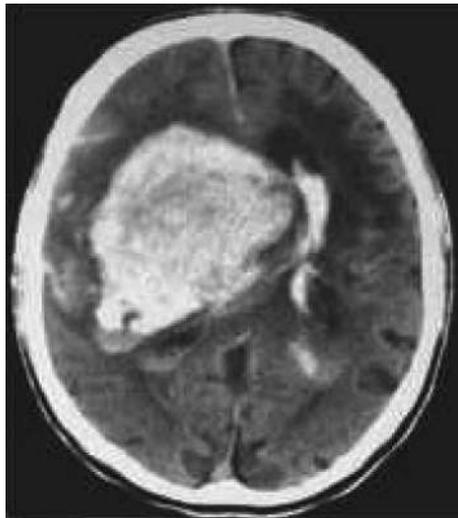
Berhentinya semua fungsi otak harus bertahan dalam periode waktu observasi tertentu, dan itu tergantung pada usia pasien dan tes penunjang yang digunakan.^{6,23} Tidak adanya aliran darah otak yang diukur dengan pemeriksaan angiografi serebral adalah satu-satunya ukuran fungsi otak yang tidak memerlukan pengamatan klinis tambahan dan pemeriksaan penunjang lain untuk mengkonfirmasi diagnosis mati otak.^{6,13} Berikut ini adalah periode observasi yang direkomendasikan di mana pasien (dewasa dan anak-anak berusia lebih dari 5 tahun) memenuhi kriteria mati otak secara klinis:¹⁰

1. Dalam situasi di mana kerusakan otak yang berat dan kondisi irreversibel sudah bisa diperkirakan (misalnya perdarahan intraserebral masif), beberapa ahli akan segera menyatakan kematian setelah melakukan satu pemeriksaan mati otak yang valid, ditambah dengan satu pemeriksaan penunjang.
2. Jika kondisi irreversibel sudah benar-benar terjadi, dan pemeriksaan penunjang telah dilaksanakan, disarankan untuk menunggu hingga 6 jam.
3. Jika kondisi irreversibel sudah dapat dipastikan dan tidak ada pemeriksaan penunjang yang digunakan, disarankan untuk menunggu hingga 12 jam sebelum membuat pernyataan akhir.
4. Jika diagnosis tidak pasti dan tidak ada pemeriksaan penunjang, tunggu 12-24 jam setelah pasien memenuhi kriteria klinis kematian otak untuk membuat pernyataan terkait diagnosis mati otak.
5. Jika hipoksia adalah penyebab kematian otak, disarankan untuk menunggu hingga 24 jam, atau dapat dipersingkat jika terbukti ada penghentian aliran darah otak.

PEMERIKSAAN PENUNJANG (*CONFIRMATORY TEST*)

Di antara sekian banyak pemeriksaan penunjang, EEG dan angiografi serebral adalah yang paling umum digunakan.^{6,21} Pemeriksaan angiografi serebral sangat ditekankan oleh para peneliti di Eropa.⁶ Harus dicatat bahwa setiap pemeriksaan penunjang harus digunakan bersamaan dengan kriteria klinis yang tepat dan harus didasarkan pada pemeriksaan klinis





Gambar 3.2 Pasien koma dengan CT scan menunjukkan perdarahan intraserebral masif disertai perdarahan intraventrikular dan efek massa yang signifikan. Menunjukkan kerusakan otak berat dengan prognosis buruk.

sebelumnya.^{6,21} Saat ini, dan mungkin juga kedepan, tidak akan pernah ada tes tunggal untuk diagnosis mati otak.⁶ Penggunaan pemeriksaan penunjang tertentu memungkinkan untuk mempersingkat periode pengamatan.⁶ Perihal pemeriksaan penunjang ini akan dibahas secara khusus pada bab selanjutnya.

Tabel 3.5 Pemeriksaan Penunjang untuk Mati Otak.¹⁷

Evaluasi fungsi saraf	Elektroensefalogram atau monitor fungsi bioelektrik serebral
	Evoked potentials
	Tes biokimia cairan serebrospinal atau darah vena jugularis
Evaluasi aliran darah intrakranial	Angiografi, MRI atau CT scan dengan kontras
	Pemeriksaan radionuklida Cerebral Blood Flow (CBF)
	Xenon-enhanced CT
	Digital Substraction Angiography / Venography

	Aliran darah arteri ophtalmika
	Pemeriksaan doppler transkranial
Lainnya (opsional)	
	ICP lebih tinggi dari tekanan darah sistolik
	Tekanan perfusi serebral menetap, 5 mmHg
	Biopsi otak

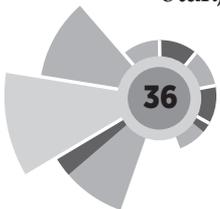
MATI OTAK PADA ANAK

Kematian otak pada neonatus dan anak selalu diperdebatkan karena fakta bahwa anak-anak dapat mempertahankan waktu hipoksia yang lebih lama daripada orang dewasa sebelum kerusakan otak yang permanen terjadi.^{6,15,23} Juga interval waktu antara onset awal kematian otak dan serangan jantung pada anak mungkin lebih lama jika dibandingkan dengan orang dewasa.⁶

Kriteria yang dijelaskan sebelumnya umumnya terbatas pada orang dewasa dan anak-anak yang berusia lebih dari 5 tahun. Kriteria spesifik yang dianggap sah pada bayi dan anak-anak telah dipublikasikan oleh *The Task Force for the Determination of Brain Death in Children* pada tahun 1987. Namun demikian, masih belum ada konsensus profesional yang luas tentang kriteria diagnosis mati otak pada anak.^{6,15,23} Seorang dokter dapat menggunakan salah satu kriteria yang saat ini telah banyak dipakai dan dipublikasi, tetapi penggunaan kriteria untuk aplikasi secara langsung tetap membutuhkan pengalaman dan penilaian yang akurat.⁶ Sehingga konsultasi dengan ahli yang berpengalaman sebaiknya tetap dilakukan saat mendiagnosis kematian otak pada anak-anak usia 5 tahun atau kurang.⁶ Diagnosis mati otak pada anak akan dibahas secara khusus pada bab selanjutnya.

'PITFALLS' DALAM DIAGNOSIS MATI OTAK

Potensi adanya kesalahan atau misdiagnosis tetap bisa terjadi saat proses diagnosis mati otak, terutama ketika keadaan koma terjadi pada pasien yang rawat inap atau mereka yang sudah menderita sakit kronis sebelumnya.^{6,11} Untuk menghindari kesalahan serius dalam diagnosis mati otak, maka dokter yang memeriksa harus mengetahui latar belakang penyakit



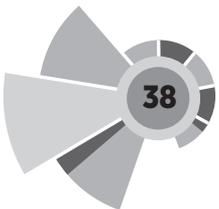
dan mengetahui faktor-faktor yang bisa mempengaruhi hasil pemeriksaan klinis maupun pemeriksaan penunjang mati otak.^{6,11,15} Ada beberapa *pitfalls* yang sering terjadi dan perlu diketahui oleh praktisi medis, bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.6 *Pitfalls* dalam Diagnosis Mati Otak.¹⁰

Temuan	Kemungkinan Penyebabnya
Pupil <i>fixed</i> tidak reaktif	Obat antikolinergik Obat penghambat neuromuskular Penyakit yang sudah ada sebelumnya
Tidak adanya refleks okulovestibular	Obat Ototoksik Obat penekan vestibular Penyakit yang sudah ada sebelumnya
Tidak adanya napas spontan	Post-hyperventilation apneu Obat penghambat neuromuskular
Tidak adanya aktivitas motorik	Obat penghambat neuromuskular Sindrom ' <i>locked-in</i> ' Obat penenang
EEG Isoelektrik	Obat penenang Anoksia Hipotermia Radang otak Trauma kepala

Pada pasien koma, pupil yang *fixed* dan tidak reaktif bukan berarti selalu refleks batang otak yang terganggu.² Hal ini bisa karena penyakit saraf yang memang sudah lama diderita, atau sering pula terjadi pada pasien *post cardiac arrest* yang sempat diresusitasi dengan injeksi atropin.² Selain itu, obat-obat penghambat neuromuskular juga bisa menyebabkan *fixed* pupil, tetapi biasanya *midposition* dan tidak terlalu melebar.¹⁴ Demikian juga pada refleks okulovestibular, yang akan negatif bila terjadi kerusakan pada telinga atau penggunaan obat ototoksik dalam jangka waktu lama seperti gentamicin.¹⁴ Beberapa obat lain seperti obat-obat sedatif, antikolinergik, anti kejang dan *tricyclic antidepressants* juga mempengaruhi fungsi vestibular.¹⁴

Fungsi motorik juga sangat dipengaruhi oleh obat-obat penghambat neuromuskular yang biasa dipakai saat pasien dengan bantuan napas di ICU. Obat-obat sedatif untuk mencegah kejang juga mempengaruhi refleks dan respon motorik terhadap stimulus. *Pitfall* juga bisa terjadi saat penggunaan EEG sebagai pemeriksaan penunjang, keadaan isoelektrik EEG bisa terjadi pada keadaan overdosis obat sedatif, keadaan hipotermia atau infeksi (encephalitis).





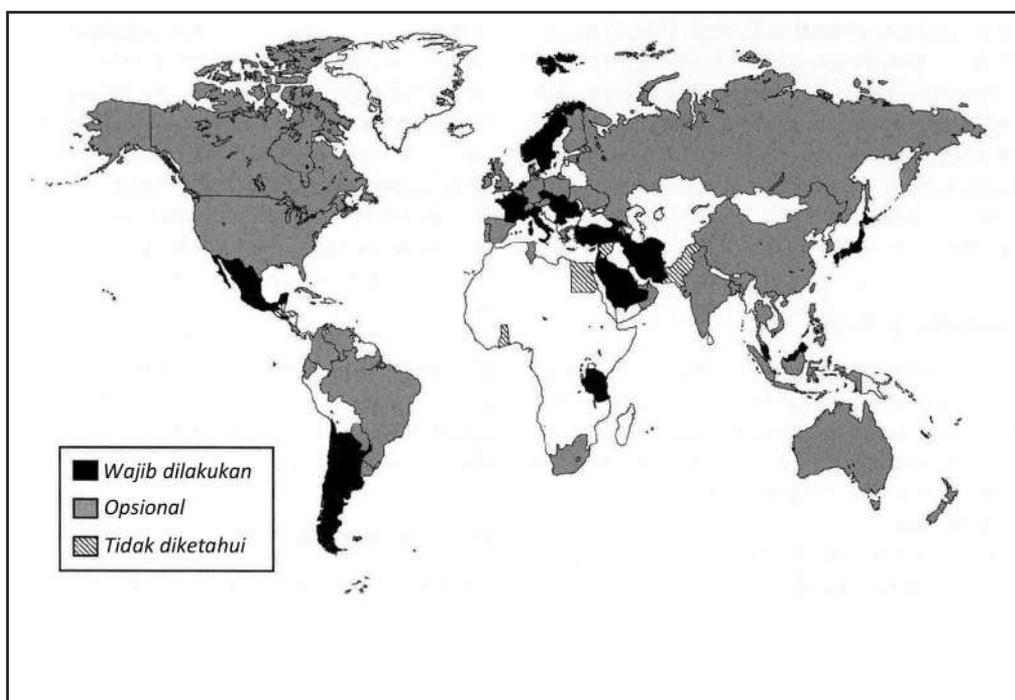
BAB 4

PEMERIKSAAN PENUNJANG

Pada tahun 1968, komite Ad Hoc di Harvard University pertama kali mengusulkan definisi mati otak berdasarkan pemeriksaan klinis dan tes konfirmasi EEG sebagai penunjang diagnosis.^{13,23} Tetapi pada tahun 1976, *Conference of Medical Royal Colleges* menyatakan bahwa pemeriksaan penunjang seperti EEG ataupun tes aliran darah otak (*blood flow study*) tidak diperlukan untuk diagnosis mati otak.¹³ *National Institute of Neurological Diseases and Stroke* pada tahun 1977 melakukan penelitian prospektif secara multisenter mengenai hal ini, kemudian merumuskan definisi mati otak sebagai keadaan *unresponsivity*, apnea dan hasil pemeriksaan EEG menunjukkan *electrocerebral silence*.¹³ *Uniform Determination of Death Act* menyatakan dengan tegas bahwa mati otak adalah hilangnya semua fungsi otak secara permanen, yang ditentukan sesuai standar medis yang berlaku.^{13,21} Banyak ahli berpendapat bahwa standar ini sudah baku dan tidak perlu ditambah dengan standar lain yang belum disepakati.¹³ *American Academy of Neurology (AAN)* dan beberapa konsensus dari beberapa negara menentukan bahwa pemeriksaan penunjang tidak diperlukan untuk diagnosis mati otak.¹³

Sampai saat ini, sudah disepakati bahwa mati otak adalah suatu diagnosis klinis, dan pada sebagian besar kasus, pemeriksaan penunjang

tidak diperlukan.^{14,23} Menurut **Eelco Wijdicks**, pemeriksaan penunjang diperlukan bila ada komponen dari pemeriksaan klinis yang gagal atau sulit dilakukan.¹⁴ Pemeriksaan penunjang atau tes konfirmasi untuk diagnosis mati otak sebaiknya harus aman, sangat akurat, mudah dilakukan, cepat dan tidak mahal.^{13,14} Pemeriksaan penunjang ini dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu tes untuk menunjukkan tidak adanya aliran darah ke otak dan tes untuk menunjukkan tidak adanya aktivitas bioelektrik otak.^{11,13,14,21} Aturan penggunaan pemeriksaan penunjang untuk diagnosis mati otak banyak diberlakukan di negara-negara Eropa, Asia serta Amerika tengah dan selatan.^{13,14} Diagnosis mati otak pada anak dan neonatus lebih rumit sehingga biasanya pemeriksaan penunjang seringkali diperlukan.¹⁴



Gambar 4.1 Variabilitas penggunaan pemeriksaan penunjang untuk mati otak di seluruh dunia.¹³

KONSEP DASAR

Pada tahun 1960-an, mulai dilakukan tes konfirmasi pada kasus mati otak. Saat itu, dilaporkan hasil angiografi serebral pada arteri karotis dan arteri vertebralis bilateral menunjukkan tidak adanya sirkulasi darah ke otak.¹⁴ **Bernat** (2004), menyatakan bahwa bukti yang paling kuat untuk menunjukkan hilangnya fungsi otak secara menyeluruh dan bersifat permanen adalah tidak adanya aliran darah secara total di otak.¹⁴ Beberapa laporan juga menunjukkan bahwa sel-sel otak akan mati beberapa menit setelah tidak mendapat pasokan darah, dan menjadi total seluruh otak (infark otak) setelah sirkulasinya terhenti selama 20 sampai 30 menit.¹⁴

Beberapa mekanisme bisa mendasari terjadinya gangguan sampai terhentinya aliran darah yang menyebabkan mati otak.¹⁴ Teori pertama adalah adanya peningkatan tekanan intrakranial (TIK) yang menyebabkan peningkatan resistensi pembuluh darah otak sehingga menyebabkan berkurangnya secara ekstrim aliran darah dan tekanan perfusi dari kapiler dan arteriole.¹⁴ Sehingga perfusi ke otak tidak ada dan akhirnya terjadi infark global.¹⁴ Mekanisme kedua adalah terjadinya obstruksi pembuluh darah yang progresif bersamaan dengan proses mati otak yang terjadi.¹⁴ Di mana terjadi peningkatan TIK yang menyebabkan peningkatan resistensi vaskular, terjadi iskemia, edema dan terbentuk *bleb subintimal*.¹⁴ Mekanisme yang ketiga adalah terjadinya kerusakan masif dari pembuluh darah itu sendiri akibat infark jaringan otak yang luas.¹⁴ Kerusakan patologis ini sering disebut dengan *respirator brain*, ditandai dengan jaringan otak yang nekrosis seperti bubur (*brain liquefaction*) akibat pasien tetap dalam mesin bantu napas pada waktu yang lama tanpa adanya sirkulasi ke otak.¹⁴ Seiring dengan kemajuan teknologi, sampai saat ini semakin banyak teknik yang dikembangkan untuk menilai aliran darah ke otak untuk mendiagnosis mati otak.¹⁴

Aktivitas bioelektrik otak adalah salah satu tanda bekerjanya fungsi saraf otak.^{13,22} EEG adalah modalitas dasar dalam menilai aktivitas bioelektrik yang sudah lama dipakai di bidang neurologi. Pada tahun 1963, **Robert S. Schwab** menyatakan bahwa aktivitas EEG yang total hilang setelah evaluasi perekaman selama 30 menit adalah salah satu kriteria penting dalam mendiagnosis mati otak.^{5,14} Kriteria Harvard juga menyebutkan bahwa EEG adalah salah satu

modalitas untuk penentuan mati otak.^{5,14} Meskipun masih banyak perbedaan pendapat, tetapi EEG tetap menjadi suatu modalitas penting. Bahkan di Italia, EEG merupakan kriteria yang wajib dilakukan untuk diagnosis mati otak.^{13,14}

Pemeriksaan bioelektrik otak dengan EEG meskipun cukup bermakna, tetapi tetap mempunyai keterbatasan dan secara teknik masih bisa terjadi kesalahan.¹⁴ Berikut beberapa yang perlu diketahui;¹⁴ (1) EEG tidak memberikan informasi secara langsung terhadap fungsi batang otak, (2) EEG bisa menunjukkan *flat* walaupun fungsi batang otak masih ada (misalnya pada pasien koma, *vegetative state* atau henti jantung yang lama), (3) aktivitas EEG kadang masih ditemukan pada pasien dengan kerusakan batang otak yang sudah memenuhi kriteria mati otak, (4) hasil EEG tidak valid pada keadaan pasien dengan sedasi, hipotermia atau gangguan metabolik, (5) interpretasi yang sering berbeda terhadap adanya artefak EEG pada aktivitas bioelektrik kortikal yang minimal, dan (6) sinyal bioelektrik saat pemeriksaan EEG bisa terkontaminasi dengan sinyal elektrik lain di rumah sakit.

INDIKASI

Walaupun konsep mati otak sudah disepakati secara luas di seluruh dunia, tetapi masih banyak variasi dalam penggunaan pemeriksaan penunjang dalam penegakan diagnosis.^{13,22} Pada beberapa negara, pemeriksaan penunjang diperlukan bila hasil pemeriksaan klinis masih meragukan, tetapi di sebagian besar negara-negara Eropa, mereka justru melakukan tes ini secara rutin pada kasus mati otak.¹³ Walaupun tanpa indikasi dan tidak sesuai dengan protokol yang telah disepakati, masih banyak praktisi medis yang melakukan tes konfirmasi ini sebagai penunjang diagnosis.¹³ Pada suatu penelitian di Amerika Serikat, dilaporkan dari 226 kasus mati otak di 68 rumah sakit yang berbeda, didapatkan hampir 25 % diagnosis dilakukan dengan pemeriksaan penunjang.¹³

Sebelum memulai melakukan pemeriksaan mati otak, harus dipastikan bahwa tidak ada faktor farmakologis, toksikologis maupun faktor metabolik yang bisa mempengaruhi fungsi neurologis pasien.^{2,13,22} Seperti halnya temperatur tubuh, mungkin mudah dan cepat untuk dikoreksi.¹³ Tetapi pada



keadaan lain, seperti obat-obat sedatif atau pelumpuh otot, kadang perlu waktu beberapa jam bahkan sampai beberapa hari untuk memastikan pengaruhnya sudah hilang sama sekali.^{13,14} Proses pembuangan zat-zat tertentu dari tubuh kadang juga lebih lambat bila terdapat kelainan hepar atau ginjal atau bila sebelumnya mendapat terapi hipotermia. Pada keadaan-keadaan seperti ini, pemeriksaan penunjang kadang sangat membantu untuk mempercepat diagnosis mati otak.¹³

Adanya kelainan pada mata sebelumnya, seperti neuropathi kranial atau trauma maksilofasial berat bisa mempengaruhi proses pemeriksaan refleks-refleks batang otak.^{2,13} Penyakit-penyakit neuromuskular akan mempengaruhi kualitas respon motorik pasien.^{2,13} Interpretasi hasil tes apnea juga bisa dipengaruhi keadaan seperti trauma servikal atau penyakit paru menahun.¹³ Beberapa pasien yang sudah menunjukkan mati otak, kadang masih didapatkan gerakan refleks motorik (refleks spinal), yang bisa membuat keraguan bagi dokter dan keluarga.^{2,13} Tes apnea juga tidak bisa dilakukan pada pasien dengan hipoksemia berat, asidosis berat atau keadaan hemodinamik yang tidak stabil.^{2,13} Juga pada kasus kelainan fossa posterior yang menekan batang otak dan menimbulkan iskemia lokal, di mana dalam hal ini sedikit berbeda dengan konsep *whole brain death*. Situasi-situasi di atas menimbulkan keraguan, maka pemeriksaan penunjang sangat diperlukan.¹³ Pada tahun 1976, *United Kingdom Conference of Medical Royal College* sudah menyatakan bahwa *functional death of the brainstem constitutes brain death*.¹³

Tabel 4.1 Beberapa Kondisi yang Merupakan Indikasi untuk Pemeriksaan Penunjang*.¹³

Kondisi yang dapat mempengaruhi tingkat kesadaran
Penggunaan obat penenang, opiat, atau penghambat neuromuskular (pedoman AAN merekomendasikan untuk menunggu setidaknya <i>five elimination half-lives</i> obat-obatan agar hilang/bersih)
Kelainan metabolik berat yang tidak dapat dikoreksi dengan cepat
Kondisi yang dapat mempengaruhi pemeriksaan saraf kranial
Kelainan ophthalmologik akut atau kronis
Trauma wajah dan <i>skull base</i>
Kelainan neuromuskular berat atau neuropati kranial yang menetap

Kondisi yang dapat mempengaruhi tes apnea
Ketidakstabilan fisiologis (hipoksemia berat, hipotensi, atau asidosis metabolik)
Cedera sumsum tulang belakang servikal (segmen atas)
Asidosis respiratorik kronis
Kondisi di mana pemeriksaan fisik mungkin tidak bisa membuktikan kematian otak secara sah
Efek massa fossa posterior (paling umum adalah pendarahan atau infark serebelum)
Pendarahan atau infark batang otak
24 jam pertama setelah serangan jantung dan kembalinya sirkulasi spontan**
Etiologi mati otak tidak jelas**
Keluarga pasien tidak menerima diagnosis mati otak**
Gerakan abnormal yang menyebabkan ketidakpastian diagnosis mati otak**

Keterangan:

AAN = *American Academy of Neurology*

*Di beberapa negara, pemeriksaan penunjang harus dilakukan pada semua kasus.

**Masih kontroversi dan belum diterima secara luas sebagai indikasi yang kuat.

Banyak pendapat tentang pentingnya pemeriksaan penunjang untuk mati otak ini, dan sebaiknya tidak perlu dibatasi penggunaannya.¹³ Alasan pendapat ini adalah;^{1,13} (1) konsep mati otak sering tidak dipahami dengan baik oleh masyarakat, beberapa penelitian menunjukkan keluarga pasien lebih puas dan menerima diagnosis mati otak dengan menunjukkan hasil pemeriksaan penunjang (seperti tidak ada aliran darah pada otak lagi) dibanding hanya dengan hasil pemeriksaan klinis semata, (2) faktor-faktor pengganggu, masih belum ada kesepakatan untuk kriterianya dan sering tidak terdiagnosis sebelumnya. Misalnya, kriteria minimum temperatur atau tekanan darah untuk syarat pemeriksaan mati otak, atau berapa lama waktu setelah obat sedasi dihentikan, (3) pemeriksaan penunjang dapat mendukung kriteria *whole brain death*, bahkan di area otak di mana sulit ditentukan dengan pemeriksaan klinis, (4) pemeriksaan penunjang bisa mencegah adanya misdiagnosis dalam penentuan mati otak, karena dari literatur memang masih banyak kontroversi dan protokol untuk diagnosis yang masih bervariasi antar negara,



(5) kombinasi antara pemeriksaan klinis dan pemeriksaan penunjang akan lebih baik dan sempurna untuk standar diagnosis mati otak.

Sebagian pendapat yang mendukung penggunaan pemeriksaan penunjang secara terbatas dan sesuai indikasi, adalah berdasarkan konsep awal bahwa mati otak adalah diagnosis klinis, yang didasarkan pada hasil temuan klinis sehingga tidak memerlukan pemeriksaan penunjang secara rutin.^{5,13,14} Deklarasi mati otak dengan hanya berdasarkan pemeriksaan klinis sudah dilakukan sejak 50 tahun yang lalu dan tidak pernah ada masalah besar yang dilaporkan.¹³

JENIS PEMERIKSAAN

Elektroencephalografi (EEG)

EEG dapat memeriksa dan menilai aktivitas listrik sinaptik pada korteks serebri yang paling dekat dengan permukaan otak.^{13,22} Di satu sisi, sebenarnya struktur subkortikal ini secara fungsional sulit dievaluasi dengan pemeriksaan fisik rutin.¹³ Karakteristik temuan EEG pada kasus mati otak adalah *electrocerebral inactivity* atau *electrocerebral silence*, yang kemudian disebut aktivitas EEG dinyatakan tidak ada, yang dilakukan pada skala amplitudo mencapai 2 uV dan direkam pada pasangan elektrode *scalp* 10 cm atau lebih dengan *interelectrode impedance* di bawah 10.000 ohm.^{13,14,21,22}

Korteks serebri sebenarnya sangat rentan terhadap terjadinya iskemia, sehingga kadang bisa didapatkan hasil gambaran isoelektrik meskipun fungsi saraf di subkortikal maupun batang otak masih intact.¹³ Hasil EEG isoelektrik juga pernah dilaporkan pada kasus-kasus dengan *persistent vegetative state*.^{13,14} Sebaliknya, ada beberapa laporan adanya aktivitas EEG pada pasien yang sudah didiagnosis mati otak.^{13,14}

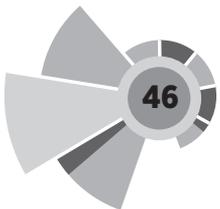
Sebelum melakukan pemeriksaan EEG, semua data yang diperlukan harus ada.^{13,22} Data tersebut termasuk identitas lengkap, penyakit penyebab koma, waktu sejak koma dan hasil pemeriksaan imejing.²² Hasil pemeriksaan fisik secara detail harus disebutkan (koma, apnea dan refleks batang otak tidak ada).²² Setiap ada kecurigaan adanya pengaruh obat-obatan, metabolik, toksikologis atau keadaan hipotermia, harus disebutkan.²²

Data yang harus dilengkapi saat pemeriksaan EEG adalah;²² (1) waktu dan lokasi saat perekaman EEG serta status perekaman pada *scalp*, (2) obat-obat yang diberikan selama 24 jam terakhir atau obat-obat yang terdeteksi dalam darah dan urin, serta (3) temperatur dan tanda-tanda vital tubuh, terutama *mean arterial pressure* yang harus dipertahankan di atas 50 mmHg. Pemeriksaan EEG harus dilakukan oleh dokter yang berkompeten dengan dibantu teknisi yang terlatih, sehingga bisa menilai hasil rekam otak dengan detail, menilai artefak, menentukan prosedur stimulasi bila diperlukan dan mencatat data-data yang penting dan relevan saat perekaman.²²

Tabel 4.2 Protokol EEG pada pasien dengan dugaan mati otak (*American Electroencephalography Society Guideline*).¹⁴

1. Minimal delapan <i>scalp electrodes</i> dan <i>ear reference electrodes</i> .
2. Ketahanan <i>interelectrode</i> di bawah 10.000 ohm tetapi lebih dari 100 ohm.
3. Uji integritas sistem perekaman dengan cara melakukan manipulasi artefak elektrode yang disengaja.
4. Jarak <i>interelectrode</i> minimal 10 cm.
5. <i>Gains</i> meningkat sebagian besar selama perekaman antara 7,0 μV hingga 2,0 $\mu\text{V}/\text{mm}$.
6. Penggunaan waktu 0,3 – atau 0,4 detik secara konstan selama perekaman.
7. Pencatatan elektrokardiogram dan <i>ekstracerebral potentials</i> memakai sepasang elektroda di dorsum tangan kanan.
8. Tes untuk reaktivitas terhadap rasa sakit, suara keras, dan cahaya.
9. Waktu perekaman total adalah 30 menit.
10. Perekaman dilakukan oleh teknisi yang memiliki kualifikasi / tersertifikasi.
11. Mengulangi perekaman jika <i>electrocerebral silence</i> (ECS) masih meragukan.
12. <i>Telephone transmitted EEG</i> tidak dianjurkan untuk penentuan ECS.

EEG mempunyai sejarah panjang dalam proses diagnosis mati otak.^{5,13} Protokol diagnosis mati otak saat ini memang menggiring praktisi medis untuk membatasi penggunaan EEG. Tetapi pada pelaksanaannya, EEG masih tetap berperan. Pada sebuah penelitian di Amerika menunjukkan bahwa EEG adalah modalitas penunjang kedua terbanyak dipakai untuk diagnosis mati otak.¹³ Sebaliknya, karena berbagai keterbatasan pada EEG,



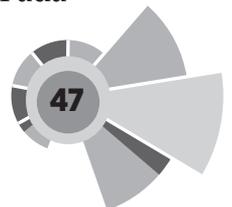
banyak yang lebih memilih modalitas pemeriksaan aliran darah otak dalam diagnosis mati otak.¹³

Angiografi Serebral

Pemeriksaan angiografi serebral empat pembuluh darah (*Four Vessel Angiography*) adalah pemeriksaan yang dikatakan paling esensial untuk penentuan mati otak.^{13,14} Teknik pemeriksaannya adalah dengan membuktikan tidak adanya sirkulasi intrakranial dari arteri karotis dan vertebralis bilateral.^{13,14} Walaupun angiografi serebral merupakan pemeriksaan terpilih (*gold standar*),^{13,21} tetapi keterbatasan jenis pemeriksaan ini adalah invasif, relatif mahal, pasien harus dipindah ke ruang kateterisasi dan tidak semua rumah sakit punya fasilitas kateterisasi otak.^{13,14} Selain itu, bila berkaitan dengan proses transplantasi ginjal, kontras media yang digunakan bisa berefek nefrotoksik.^{13,14}

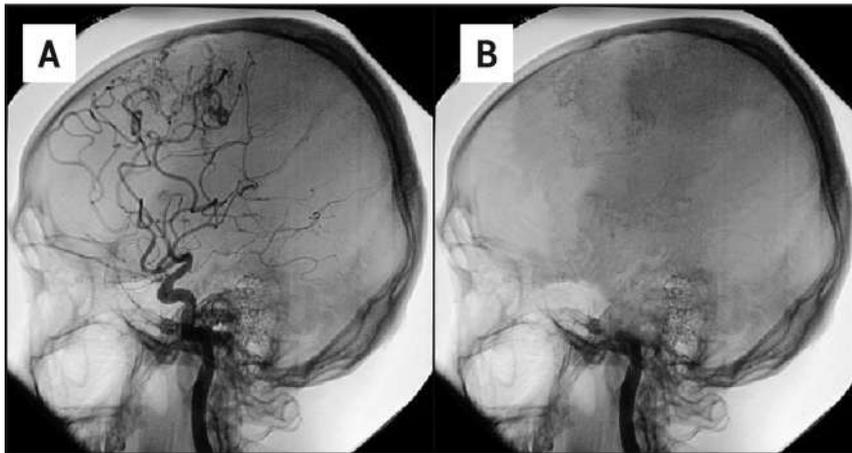
Gambaran yang sering didapatkan pada sistem karotis adalah berhentinya aliran (*total block*) pada level basis kranii atau pada *carotid siphon* dekat *processus clinoid anterior* atau posterior dengan atau tanpa visualisasi arteri ophtalmik.¹⁴ Biasanya, kontras media terlihat berhenti secara simetris di kedua karotis, tetapi kadang terlihat satu sisi berhenti lebih ke distal.¹⁴ Pada sekitar 30% kasus juga dilaporkan masih terlihat kontras di proksimal arteri serebri media dan arteri serebri anterior.¹³ Hal ini bisa terjadi mungkin karena tekanan injeksi yang tinggi saat penyuntikan kontras.¹³ Untuk lebih meyakinkan tidak adanya sirkulasi intrakranial, biasanya bisa dipakai gambaran kontras pada arteri karotis eksterna untuk membandingkan.¹⁴ Pada pasien dengan mati otak, tidak pernah didapatkan adanya gambaran kontras pada angiografi fase vena.¹³

Pada sistem vertebrobasilar (sirkulasi posterior), biasanya gambaran kontras terhenti di *atlanto-occipital junction*, jarang di level intrakranial.^{13,14} Beberapa kasus dilaporkan kontras berhenti di kanalis transversalis.¹⁴ Pada suatu penelitian yang melibatkan 42 pasien dengan diagnosis klinis mati otak dan EEG isoelektrik, satu pasien masih menunjukkan aliran darah ke otak.¹³ Pasien ini koma akibat adanya tumor di fossa posterior.¹³ Beberapa laporan lain juga melaporkan masih adanya aliran pada sirkulasi posterior.¹³ Pada



kasus-kasus dengan terhentinya aliran darah ke intrakranial, aliran darah di fossa posterior biasanya berhenti setelah didahului berhentinya aliran darah di supratentorial.^{13,14}

Teknik angiografi serebral ini bisa dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan femoral atau axillary *puncture*, *direct puncture* pada karotis dan vertebralis di leher atau dengan teknik *cerebral panarteriography* melalui *ascending aorta* atau injeksi *retrograde brachial*.¹⁴ Sampai saat ini, yang paling sering digunakan adalah teknik Seldinger di mana kontras dimasukkan melalui arteri femoralis menuju *aorta ascending* dan seterusnya ke intrakranial.¹⁴ Dalam keadaan terintubasi, lebih efektif akses lewat femoral daripada di sekitar leher, tetapi, kateterisasi selektif pada leher sebenarnya mudah dilakukan.¹⁴ Karena biasanya, pada keadaan mati otak terjadi sirkulasi serebral yang lambat, maka perlu waktu yang lebih lama saat pembuatan film dilakukan.^{13,14}



Gambar 4.2 Hasil pemeriksaan serebral angiografi yang normal (A), dan tidak adanya aliran darah serebral (*no flow*) pada kasus mati otak (B).

Pemeriksaan angiografi konvensional ini sampai saat ini masih banyak dipakai di negara-negara Eropa dan mulai jarang digunakan di negara-negara benua Amerika.^{13,14} Beberapa komplikasi yang bisa terjadi pada pemeriksaan angiografi serebral di antaranya; hipotensi, bradikardia, vasospasme, diseksi subintimal dan trombosis.¹⁴

Radionuklida Imejing untuk Perfusi Otak

Setelah kriteria mati otak dari Harvard University dipublikasikan, pada tahun 1969 Goodman melaporkan penggunaan radionuklida imejing (RNI) menggunakan isotop radionuklida technetium (Tc) 99m-sodium pertechnetate untuk membuktikan keadaan berhentinya sirkulasi otak pada tiga pasien dengan mati otak.¹³ Pada penelitian multisenter pada tahun 2013 di Amerika Serikat, menunjukkan pemeriksaan penunjang menggunakan RNI merupakan pemeriksaan yang paling sering dilakukan saat itu.¹³ RNI adalah pemeriksaan yang non-invasif dan tidak menggunakan kontras media yang bersifat nefrotoksik.^{13,14}

Radioisotop yang sering digunakan saat ini adalah Tc 99m hexamethylpropyleamine (HMPAO) dan Tc 99m ethylene cystein diethyl ester (ECD), keduanya bersifat *lipophilic* dan cukup efektif penetrasinya ke jaringan otak.^{13,14} Teknik RNI ini adalah dengan cara menyuntikkan bolus bahan isotop lewat vena antecubiti, kemudian emisi isotop pada kepala diukur menggunakan kamera gamma, diukur secara berkala dalam periode waktu tertentu.^{13,14} Planar imejing harus dilakukan dengan proyeksi anteroposterior dan lateral.^{13,14} Gambaran karakteristik dari planar imejing ini adalah adanya *empty skull sign*,^{11,13,14,23} yang menunjukkan tidak adanya aliran perfusi ke otak. Karena terjadi pengalihan aliran darah menuju sistem arteri karotis eksterna, maka sering didapatkan akumulasi dari radioisotop ini di area nasopharyngeal, gambaran ini sering disebut *hot nose sign*.^{13,14,23} Planar imejing saat ini banyak dikombinasikan dengan pemeriksaan *single photon emission computed tomography* (SPECT), juga dengan menambah aksial imejing untuk meningkatkan kualitas hasil untuk pencitraan di fossa posterior.^{13,14} Planar imejing ini digabung dengan SPECT, akan menunjukkan kualitas yang sama dengan pemeriksaan angiografi empat pembuluh darah otak.^{13,14}

Korein dkk pada tahun 1978 membandingkan dengan hasil angiografi serebral konvensional, dan mengambil kesimpulan bahwa teknik bolus radioisotop ini sangat membantu untuk diagnosis mati otak.¹⁴ Mereka menyimpulkan bahwa tidak didapatkannya aktivitas radioisotop intrakranial menunjukkan adanya penurunan aliran darah ke otak mencapai kurang dari 24% dari perfusi otak normal.¹⁴ Joffe melaporkan hasil *systematic review*

penggunaan RNI ini, dan menunjukkan dibanding dengan pemeriksaan klinis, planar imejing mempunyai sensitivitas 78% dan spesifisitas 100%.¹³ Sedangkan untuk SPECT imejing, memiliki sensitivitas 88% dan spesifisitas sebesar 100%.¹³

Prosedur ini bisa dilakukan pada pasien dengan intoksikasi obat, hipotermia atau dengan kelainan metabolik berat.^{13,14} Beberapa ahli masih tidak setuju penggunaan prosedur ini pada pasien anak.¹⁴ **Wijdicks** menyatakan banyak kelemahan pada prosedur ini, terkait kriteria berupa kesimpulan berkurangnya total aliran darah ke seluruh otak tetapi sebenarnya aliran darah otak tidak 100 persen hilang.¹⁴ Karena berkurangnya penggunaan oksigen otak (CMRO₂), sebenarnya adalah indeks yang paling signifikan untuk mengukur aktivitas metabolik dan ini sangat terkait dengan aliran darah otak.¹⁴ Sehingga bisa disimpulkan, prosedur ini masih belum bisa digunakan untuk konfirmasi keadaan mati otak secara rutin, selain itu prosedur ini juga tidak bisa menunjukkan secara detail anatomi pembuluh darah otak dan sulit untuk menilai perfusi darah di area fossa posterior.^{13,14}

Tabel 4.3 Pemeriksaan Penunjang untuk Diagnosis Mati Otak.²

No	Tes	Deskripsi	Temuan	Keuntungan	Kerugian
1	Angiografi serebral	Injeksi bahan kontras radiopaque ke dalam sistem karotid/vertebrobasilar melalui kateter yang dimasukkan melalui arteri femoralis.	Tidak adanya aliran darah intrakranial, proksimal <i>skull entry</i> dari sistem sirkulasi karotis dan vertebrobasilar.	Pemeriksaan yang amat baik (<i>gold standard</i>) untuk penilaian aliran darah intrakranial. Waktu yang singkat untuk dapat memperoleh hasil, mudah diinterpretasikan, dan ketika konsisten dengan klinis kematian otak, maka pasti definitif.	Prosedur invasif. Membutuhkan penggunaan bahan kontras yang bersifat nefrotoksik. Tidak tersedia di semua rumah sakit. Membutuhkan transportasi ke ruang cathlab, berisiko untuk pasien yang tidak stabil.



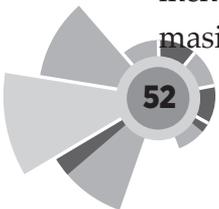
No	Tes	Deskripsi	Temuan	Keuntungan	Kerugian
2	Radionuklida imejing untuk perfusi otak	Injeksi pelacak radioisotop seperti technetium-99m, pencitraan skull posisi anteroposterior dan lateral secara serial (30, 60, 120 menit).	Tidak adanya <i>uptake</i> isotop pada distribusi pembuluh darah intrakranial.	Kurang invasif dibandingkan metode lain, interpretasi cepat, tidak ada beban bahan kontras pada ginjal.	Tidak tersedia di semua rumah sakit. Perlu transport ke ruangan khusus, berisiko untuk pasien yang tidak stabil.
3	<i>Diagnostic electroencephalography</i> (EEG)	Diagnostik EEG dengan menggunakan susunan elektrode di <i>scalp</i> . Dengan kepekaan perangkat $\geq 2 \mu\text{V}$ dan perekaman selama ≥ 30 menit. Pelacakan dievaluasi sebagai respon terhadap rangsangan eksternal.	Tidak adanya aktivitas listrik otak terhadap stimulus taktil, somatosensor, auditori maupun visual.	Praktis dan dapat dilakukan di samping tempat tidur dan hasil tersedia dengan cepat. Pemeriksaan non-invasif dan tidak ada risiko.	Tergantung dengan keahlian operator (<i>operator dependent</i>). Dipengaruhi aktivitas listrik di lingkungan ICU (<i>syringe pump</i> , tempat tidur, mesin napas dll). Adanya pengaruh fungsi jantung bisa menyebabkan 'flat' EEG. EEG tidak mencerminkan aktivitas struktur 'dalam' otak seperti batang otak, juga bisa dipengaruhi keadaan hipotermia atau obat-obat anastesi.
4	Transcranial Doppler	Penempatan transduser di atas jendela insonasi (temporal dan oksipital) dan kemudian menentukan keadaan aliran darah intrakranial.	Adanya gambaran <i>oscillating flow</i> dan <i>systolic spikes</i> . Tidak didapatkan <i>flow</i> lagi setelah sebelumnya masih ada <i>flow</i> pada pemeriksaan Doppler.	Dapat dilakukan di samping tempat tidur dan bisa cepat diinterpretasikan oleh operator yang terlatih. Pemeriksaan non-invasif dan tidak ada risiko. Korelasi positif yang kuat dengan hasil angiografi serebral. Berguna untuk menentukan waktu yang tepat untuk pemeriksaan angiografi serebral.	Tidak tersedia di semua rumah sakit Sangat <i>operator-dependent</i> Kadang cukup sulit untuk mencari jendela insonasi. Sinyal sangat dipengaruhi oleh tebalnya tulang calvaria. Adanya defek kranial yang luas bisa mempengaruhi interpretasi.

No	Tes	Deskripsi	Temuan	Keuntungan	Kerugian
5	<i>Computed tomographic angiography</i> (CTA)	Injeksi bahan kontras intravena simultan saat dilakukan <i>scanning</i> kepala.	Tidak didapatkan aliran bahan kontras di arteri serebri media, sistem vertebrobasilar dan sistem vena.	Tersedia secara luas di sebagian besar rumah sakit. Kurang invasif daripada pemeriksaan angiografi serebral dan analisa hasil cepat. Kemampuan untuk evaluasi cukup baik meskipun masih ada pengaruh obat-obat neurodepressan. Korelasi yang kuat dengan hasil angiografi serebral.	Membutuhkan media kontras dengan dosis tinggi. Bisa menunjukkan adanya <i>flow</i> pada keadaan tekanan intrakranial yang rendah atau defek kranial luas pada pasien mati otak. Masih perlu penelitian lebih banyak untuk menentukan efektifitasnya.

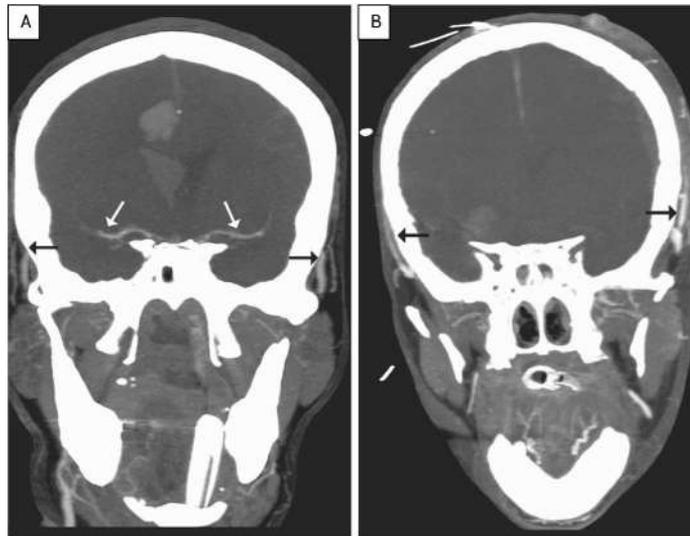
Computed Tomography Angiography

Computed Tomography Angiography (CTA) adalah prosedur yang non-invasif, relatif cepat dan banyak diterima sebagai pemeriksaan penunjang untuk menilai aliran darah otak.^{13,19} Sampai saat ini, belum ada kesepakatan universal terkait kriteria spesifik hasil pemeriksaan CTA dalam mendiagnosis mati otak.^{13,19} Beberapa laporan menunjukkan meskipun secara klinis terdiagnosis mati otak, tetapi hasil CTA menunjukkan masih adanya aliran (*filling*) pada proksimal pembuluh darah intrakranial.¹³ Terdapat dua laporan *systematic review* tentang akurasi penggunaan CTA untuk diagnosis mati otak.¹³ Tahun 2014, **Taylor dkk** menyimpulkan dari 10 penelitian menunjukkan sensitivitas CTA 84% untuk diagnosis mati otak yang sudah ditegakkan dengan kriteria klinis dan tes apnea.¹³ **Kramer** dan **Robert**, melaporkan dari 12 penelitian dengan 541 pasien menunjukkan sensitivitas 62% pada CTA fase vena dan 84% pada fase arterial.¹³ Sensitivitas CTA paling tinggi untuk diagnosis mati otak bila tidak didapatkan opasifikasi kontras di vena serebri interna secara tunggal (99%) atau kombinasi dengan berkurangnya aliran darah ke cabang-cabang distal arteri serebri media (85%).¹³ Spesifisitas CTA belum dapat ditentukan berdasarkan literatur-literatur yang ada sampai saat ini.^{13,19} Protokol dari AAN tahun 2010 menunjukkan bahwa penggunaan CTA untuk pemeriksaan penunjang masih belum terbukti efektif.^{13,19}

Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



Teknik pemeriksaan CTA sebenarnya adalah prosedur yang rutin untuk diagnosis pembuluh darah otak, dengan cara menyuntikkan media kontras iodine intravena secara bolus dan cepat diikuti dengan CT scan seluruh bagian otak secara simultan.^{13,19} Untuk diagnosis mati otak, ada 3 hal yang perlu dilakukan dan diperhatikan, yaitu;¹⁹ (1) evaluasi gambaran awal pre-kontras untuk referensi penilaian opasifikasi gambaran pembuluh darah otak, (2) *early post-contrast scanning*, untuk menilai opasifikasi vaskular intra maupun ekstrakranial. Fase ini biasanya terlihat sekitar 20 detik sejak awal media kontras disuntikkan. Opasifikasi cabang-cabang arteri karotis eksternal, seperti arteri temporalis superficialis atau arteri facialis menandakan bahwa kontras disuntikkan dengan benar tanpa adanya gangguan hemodinamik yang bisa menyebabkan lambatnya aliran kontras ke area kepala dan leher, (3) *late post-contrast scanning*, untuk evaluasi opasifikasi vaskular intrakranial. Fase ini terlihat sekitar 60 detik setelah penyuntikan media kontras. Fase ini sangat penting untuk menunjukkan adanya aliran yang lambat dan berhentinya sirkulasi serebral.



Gambar 4.3 Pemeriksaan CTA dalam diagnosis mati otak: (A) MIP 10-mm di bidang koronal menunjukkan stasis aliran darah dan opasitas tertunda di proksimal arteri serebri media (panah putih), perhatikan juga pengisian simultan dari arteri temporalis superfisial (panah hitam). (B) MIP 10-mm di bidang koronal tidak menunjukkan pengisian intrakranial. Temuan dari CTA ini bisa mengkonfirmasi diagnosis mati otak.¹⁹

Meskipun prosedur CTA adalah cepat dan non-invasif, tetapi prosedur ini tidak bisa dilakukan secara *bedside* dan pasien harus dibawa ke ruang CT scan.^{13,19} Selain itu, ada risiko penggunaan kontras dengan dosis yang relatif lebih tinggi.^{13,19} Hasil pemeriksaan CTA juga sangat dipengaruhi dengan keadaan intrakranial. Pada keadaan dengan distribusi tekanan intrakranial yang sudah berubah, misalnya pasca kraniektomi dekompresi, drainage ventrikel, fraktur calvaria atau fontanella yang terbuka pada bayi dan anak akan menyebabkan adanya aliran darah residual yang berbeda di area dekompresi dan menyebabkan hasil *false negatif* pada CTA.^{13,19}

Penggunaan CTA semakin berkembang, tetapi masih perlu konsensus kriteria radiologis yang spesifik dan baku untuk diagnosis mati otak.^{13,19} Dengan berkembangnya teknik *time-resolved dynamic* CTA (4D CTA) dengan *ultrafast* dan *wide detector scanners*, maka prosedur ini bisa menjadi pilihan untuk masa depan pemeriksaan penunjang mati otak.¹⁹ Selain itu, dengan mulai dikembangkannya *portable* CT scan, maka penggunaannya akan semakin praktis dan cepat.¹⁹

Transcranial Doppler

Transcranial Doppler (TCD) *Ultrasonography* adalah suatu pemeriksaan penunjang non-invasif yang bisa memeriksa arah dan derasnya aliran pembuluh darah lokal, khususnya pada bagian proksimal pembuluh darah besar intrakranial.^{13,14} Selain prosedur non-invasif, ada beberapa keuntungan lain di antaranya bisa dilakukan secara *bedside*, alat bersifat *portable*, bisa diulang bila diperlukan atau digunakan secara monitor kontinyu.^{13,14} Selain itu, relatif lebih murah dibanding yang lain dan tidak memerlukan media kontras.¹⁴ Tetapi, pemeriksaan penunjang ini sangat tergantung pada pengetahuan dan keterampilan dokter pemeriksanya (*operator-dependent*), biasanya, di ICU seorang intensivis atau ahli saraf yang sudah terlatih akan menggunakan *portable doppler* untuk memeriksa pasien-pasien dengan mati otak secara *bedside*.^{13,14} Selain itu, kekurangan utama dari pemeriksaan TCD ini adalah hanya bisa terbatas memeriksa segmen pembuluh darah intrakranial yang besar saja.¹⁴



Monteiro (2006) melakukan studi meta analisis dan *systematic review* tentang akurasi TCD pada kasus mati otak.¹³ Terdapat 10 penelitian yang melibatkan 684 pasien. Dibandingkan dengan pemeriksaan klinis, TCD mempunyai sensitivitas 89% dan spesifisitas 99% dengan hanya 2 kasus dengan *false-positif* yang dilaporkan.¹³ Hasil pengamatan selanjutnya dari 24 laporan penelitian sampai tahun 2014, didapatkan sensitivitas TCD sebesar 86% dengan spesifisitas 98%.¹³ Adanya variasi sensitivitas dan laporan *false-positive* biasanya terjadi akibat interval waktu yang berbeda-beda antara pemeriksaan klinis dan pemeriksaan aliran darah otak.^{13,14} Semakin lama jarak waktunya, semakin jelas terjadinya gangguan aliran darah otak. Teknik, TCD bisa membuktikan tidak adanya aliran darah ke otak (*zero net flow velocity*) di beberapa tempat.¹⁴ Pemeriksa harus melakukan evaluasi TCD pada kedua arteri serebri media melalui *temporal bone window* di atas arkus zygo.^{13,14} Adanya gambaran *oscillating flow* dan *systolic spikes* pada sinyal TCD adalah khas pada berhentinya aliran darah otak, yang apabila irreversible, maka menandakan mati otak.¹⁴



Gambar 4.4 Gambaran khas TCD *oscillating flow* dan *systolic spikes* pada pasien dengan mati otak.¹⁴

Pada tahun 2004, *Therapeutic and Technology Assessment Subcommittee* dari AAN menyimpulkan aplikasi klinis dari penggunaan TCD ini berdasarkan laporan-laporan penelitian sebelumnya, di mana dinyatakan bahwa TCD sangat sensitif dan spesifik dalam menentukan diagnosis mati otak.¹⁴ *Neurosonology Research Group* dari *World Federation of Neurology* juga memberikan evaluasi

terhadap penggunaan TDC untuk diagnosis mati otak, mereka memberikan pendapat bahwa *Doppler Sonography* ekstra maupun intrakranial sangat berguna untuk menentukan berhentinya aliran darah otak dan menjadi salah satu pilihan untuk protokol diagnosis mati otak.¹⁴ *Neurosonology Research Group* juga menghasilkan konsensus terkait hal ini, yaitu;¹⁴ 1) berhentinya aliran darah otak bisa dikonfirmasi dengan pemeriksaan TCD ekstra maupun intrakranial secara bilateral, dilakukan dengan dua kali pemeriksaan dengan jeda waktu minimal 30 menit, 2) gambaran *oscillating flow* atau *systolic spike* dapat direkam secara bilateral pada arteri karotis interna atau arteri serebri media, atau arteri lain yang bisa direkam (sirkulasi anterior atau posterior), 3) hasil diagnosis dari pemeriksaan intrakranial harus dikonfirmasi dengan hasil pemeriksaan ekstrakranial bilateral dari arteri karotis komunis, arteri karotis interna dan arteri vertebralis, 4) tidak didapatkannya sinyal pada arteri serebral di basal, bisa tidak valid karena mungkin terjadi masalah transmisi saat prosedur, dan 5) beberapa prosedur yang bisa mempengaruhi tekanan intrakranial, seperti drainase ventrikular, dekompresi tulang atau fraktur terbuka harus tidak ada saat TCD dilakukan.

Pemeriksaan penunjang untuk mati otak memang masih diperlukan, di beberapa negara yang tidak menganjurkan pemakaian pemeriksaan penunjang untuk diagnosis mati otak, kadang juga menggunakannya untuk kasus-kasus di mana dengan pemeriksaan klinis masih meragukan.¹³ Masing-masing jenis pemeriksaan memiliki keuntungan dan kerugian, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan keadaan lokal dan sumber daya yang ada. Kita masih menunggu konsensus secara global terkait pemilihan jenis pemeriksaan penunjang ini dan kriteria masing-masing untuk penegakan diagnosis mati otak.





BAB 5

MATI OTAK PADA ANAK

Konsep dan prosedur diagnosis mati otak pada anak sebenarnya tidak jauh berbeda dengan prosedur pada orang dewasa.^{14,15} Tetapi, pada aplikasinya sering terjadi kesulitan bagi dokter atau perawat, karena motif etik dan psikologi emosional dari orang tua dan keluarga. Para orang tua sering tidak bisa menerima diagnosis mati otak pada anaknya, apalagi saat di ICU dengan fungsi jantung yang masih terlihat di mesin monitor.¹⁴ Keadaan fisiologi tubuh anak yang berbeda dengan orang dewasa juga mempengaruhi proses diagnosis, sehingga perlu penyesuaian protokol teknis dan penunjang termasuk interval pemeriksaan.^{15,23} Selain itu, secara klinis sebenarnya juga agak sulit melakukan pemeriksaan fisik pada anak dengan dugaan mati otak, dikarenakan beberapa hal, di antaranya ukuran fisik tubuh yang kecil, refleks-refleks yang masih immatur dan juga fontanella dan sutura yang masih terbuka.^{14,15,23}

Pada tahun 1981, ditetapkan protokol mati otak pada orang dewasa (*adult brain death guidelines*), di mana protokol ini hanya digunakan untuk pasien

dewasa dan anak di atas umur 5 tahun.^{5,15,21} Pada bayi dan anak, diyakini mempunyai ketahanan otak yang berbeda dengan orang dewasa.¹⁵ Otak anak mempunyai kemampuan untuk regenerasi secara fungsional meskipun terjadi kerusakan yang berat dan terjadi dalam waktu yang cukup lama.¹⁵ Protokol klinis mati otak khusus untuk anak pada akhirnya dibuat pada tahun 1987 oleh tim khusus (*special task force*).^{14,15,23} Protokol ini mengalami revisi pada tahun 2011, dengan rekomendasi dari *Society of Critical Care Medicine, American Academy of Pediatrics dan Child Neurology Society*.^{14,15,23} Terdapat beberapa revisi pada protokol terbaru (2011), di antaranya periode observasi yang pertama sebelum melakukan tes mati otak awal, berapa kali melakukan pemeriksaan fisik, jarak waktu antara 2 pemeriksaan, jumlah dokter pemeriksa, berapa kali tes apnea, batas ambang PaCO₂ saat tes apnea dan kapan pemeriksaan penunjang diperlukan.^{15,23}

EPIDEMIOLOGI

Penyebab terbanyak kasus mati otak pada pada anak adalah trauma, yaitu akibat kecelakaan lalu lintas, *shaken baby syndrome*, dan kekerasan fisik lainnya.^{14,15,23} Asfiksia juga merupakan penyebab yang sering dilaporkan, biasanya terjadi akibat tenggelam di bak mandi, tersedak dan *sudden infant death syndrome* (SIDS).¹⁴ Selain itu, infeksi susunan saraf pusat seperti meningitis dan ensefalitis juga sering menyebabkan kerusakan jaringan otak berat pada anak.¹⁴ Pada penelitian retrospektif di Amerika, menunjukkan mati otak terjadi pada 16% pasien dari 192 pasien yang dirawat di *Pediatric Intensive Care Unit* (PICU).¹⁵ Lama rawat inap pasien dengan mati otak sekitar 80% adalah di bawah 7 hari.¹⁵ Pada suatu penelitian di Yunani, didapatkan angka 44 (16%) kasus mati otak anak pada 275 kematian, rata-rata berumur antara 2 bulan sampai 13 tahun dan kebanyakan adalah anak laki-laki (63,6%).²³ Sampai saat ini, angka kejadian mati otak di PICU tetap stabil di sekitar angka 20% dari semua kematian yang telah dilaporkan.^{14,15} Pada tahun 1995, **Mejia dan Pollack** melaporkan hasil penelitian pada 5.415 pasien di PICU yang didiagnosis mati otak.¹⁴ Hasil penelitian didapatkan penentuan mati otak sangat bervariasi



dan bahkan ada yang bertentangan dengan protokol yang ada, baik dalam hal pemeriksaan klinis maupun metode tes apnea.¹⁴

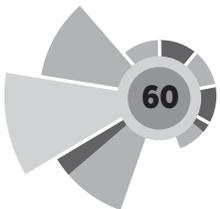
KRITERIA DIAGNOSTIK

Mati otak adalah suatu diagnosis klinis berdasarkan pemeriksaan fisik neurologis dan sebelumnya sudah ditetapkan dengan keadaan koma yang permanen akibat kelainan tertentu.^{6,15,21,23} Melalui anamnesis lengkap, pemeriksaan fisik dan pemeriksaan penunjang awal, setiap praktisi medis harus dapat mengidentifikasi adanya kelainan penyebab koma dan menentukan apakah koma yang terjadi masih reversibel atau sudah permanen sebelum evaluasi mati batang otak dilakukan pada neonatus atau anak.^{15,21,23} Pemeriksaan awal ini menyangkut pemeriksaan laboratorium lengkap termasuk kandungan obat-obat tertentu dalam darah.^{15,23} Pemeriksaan penunjang seperti CT scan dan MRI kepala bisa menunjukkan adanya kelainan dalam otak untuk menunjang diagnosis pasti dan prognosisnya.¹⁵

Beberapa faktor yang bisa mempengaruhi pemeriksaan neurologis untuk menentukan mati otak pada anak di antaranya adalah;¹ (1) gangguan hemodinamik dan syok, (2) hipotermia, (3) gangguan metabolik berat, (4) obat-obat anastesi dan pelumpuh otot, serta (5) intoksikasi obat. Pemeriksaan klinis untuk mati otak baru bisa dilakukan bila faktor-faktor di atas sudah bisa ditangani, dan tentu saja perlu waktu. Resusitasi kardiopulmonal, koreksi gangguan metabolik dan evaluasi penggunaan obat tertentu pada anak perlu periode penanganan di rumah sakit. Selain itu, pemeriksaan neurologis juga harus ditunda terlebih dahulu supaya mendapatkan hasil yang benar-benar sah.

Tabel 5.1 Kriteria Klinis untuk Diagnosis Mati Otak pada Bayi dan Anak.¹⁵

Kondisi yang reversibel atau kondisi yang dapat mengganggu pemeriksaan neurologis harus disingkirkan sebelum tes mati otak.	
1. Koma. Pasien harus menunjukkan hilangnya kesadaran, vokalisasi, dan aktivitas volisional.	<ul style="list-style-type: none"> • Pasien tidak responsif. Buka mata atau gerakan bola mata terhadap stimulus tidak ada. • Stimulus eksternal seharusnya tidak menghasilkan respon motorik selain dari refleks spinal. Manifestasi klinis respon spinal yang terkait dengan aktivitas otak membutuhkan penilaian lebih dalam oleh ahli yang berpengalaman.
2. Hilangnya semua refleks batang otak termasuk:	
(a) Pupil midposisi atau midriasis bilateral yang tidak merespon terhadap cahaya.	Tidak adanya respon pupil terhadap cahaya terang pada kedua mata. Biasanya pupil tetap pada posisi sedang atau melebar (4-9 mm). Bila timbul keraguan, pemeriksaan bisa menggunakan kaca pembesar.
(b) Tidak adanya gerakan otot bulbar termasuk otot wajah dan orofaringeal.	Tekanan yang keras pada kondilus di sendi temporomandibular dan <i>supraorbital ridge</i> seharusnya tidak menghasilkan gerakan otot wajah atau meringis.
(c) Tidak adanya refleks muntah, batuk, menghisap, dan refleks rooting	Refleks faring atau muntah diuji dengan stimulasi faring posterior menggunakan <i>tongue blade</i> atau alat <i>suction</i> . Refleks trakea dapat diuji dengan memeriksa respon batuk terhadap <i>suction</i> di trakea. Kateter harus dimasukkan ke dalam trakea sampai ke carina diikuti oleh <i>suction pass</i> .
(d) Tidak adanya refleks kornea	Tidak adanya refleks kornea ditunjukkan dengan menyentuh kornea dengan selembar kertas tisu, kapas, atau menggunakan air. Tidak adanya gerakan kelopak mata adalah hasil yang positif. Pemeriksaan harus dilakukan dengan hati-hati supaya tidak merusak kornea selama tes berlangsung.
(e) Tidak adanya refleks okulovestibular	Refleks okulovestibular diuji dengan menyemprotkan setiap lubang telinga dengan air es (pengujian kalori) setelah sebelumnya patensi kanal auditori eksternal ditentukan baik. Kepala diangkat setinggi 30 derajat. Setiap kanal auditori eksternal diirigasi (1 telinga pada satu waktu) dengan 10-50 mL air es. Tidak adanya gerakan mata menjadi parameter selama 1 menit pengamatan. Kedua telinga diuji, dengan selang waktu beberapa menit.
3. Apnea. Pasien harus terbukti mengalami henti napas yang tercatat dengan baik (jika memungkinkan) dengan tes apnea standar dengan peningkatan PaCO ₂ ≥ 60 mmHg dan ≥ 20 mmHg di atas standar.	<ul style="list-style-type: none"> • Normalisasi pH dan PaCO₂ diukur dengan analisis gas darah arteri, menjaga suhu tubuh pada 35°C, normalisasi tekanan darah yang tepat untuk usia anak dan melakukan koreksi terhadap faktor-faktor yang dapat mempengaruhi upaya pernapasan adalah prasyarat sebelum dilakukan pengujian.



<ul style="list-style-type: none"> • Pasien harus dilakukan pre-oksigenasi menggunakan oksigen 100% selama 5-10 menit sebelum memulai tes ini.
<ul style="list-style-type: none"> • Ventilasi mekanik yang intermiten harus dihentikan setelah pasien diberi oksigen dengan baik dan nilai normal PaCO₂ telah tercapai.
<ul style="list-style-type: none"> • Denyut jantung pasien, tekanan darah, dan saturasi oksigen harus dipantau secara kontinyu sambil mengamati adanya pernapasan spontan pada semua prosedur.
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Follow up</i> gas darah harus diperoleh untuk memantau kenaikan PaCO₂ sementara pasien tidak dalam bantuan mesin napas.
<ul style="list-style-type: none"> • Jika tidak didapatkan upaya pernapasan saat awal tes apnea sampai saat PaCO₂ yang terukur ≥ 60 mmHg dan 20 mmHg di atas standar, maka tes apnea konsisten dengan mati otak.
<ul style="list-style-type: none"> • Pasien harus ditempatkan kembali pada mesin napas dan perawatan medis harus dilanjutkan sampai pemeriksaan neurologis kedua dan tes apnea dapat memastikan diagnosis mati otak.
<ul style="list-style-type: none"> • Jika saturasi oksigen turun di bawah 85%, ketidakstabilan hemodinamik membatasi penyelesaian tes apnea, atau 60 mmHg dari PaCO₂ tidak dapat dicapai, maka bayi atau anak tersebut harus ditempatkan kembali dalam mesin napas dan diberikan pengobatan yang tepat untuk mengembalikan saturasi oksigen, normokarbia, dan parameter hemodinamik secara normal. Upaya lain untuk tes apnea dapat dilakukan di lain waktu atau penelitian tambahan dapat diupayakan untuk membantu penentuan kematian otak.
<ul style="list-style-type: none"> • Bukti adanya upaya pernapasan yang tidak konsisten dengan mati otak, maka tes apnea harus dihentikan.
<p>4. Tonus flaccid dan tidak adanya gerakan spontan atau respon setelah rangsangan, tidak termasuk refleks spinal seperti refleks <i>withdrawal</i> atau mioklonus spinal.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ekstremitas pasien harus diperiksa untuk mengevaluasi tonus dan gerakan pasif, dengan asumsi bahwa tidak ada kontra indikasi untuk melakukan pemeriksaan seperti itu (misalnya riwayat trauma sebelumnya, dll) dan pasien diamati untuk melihat adanya gerakan spontan atau setelah stimulus.
<ul style="list-style-type: none"> • Jika ada gerakan abnormal, penilaian klinis untuk menentukan apakah ini refleks spinal harus dilakukan.

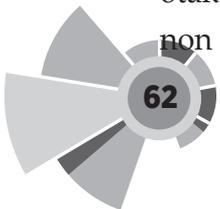
Berbeda pada orang dewasa, ada beberapa faktor yang membuat pemeriksaan neurologis pada anak terutama bayi sulit dilakukan, yaitu,¹⁴ (1) pupil pada bayi sangat kecil dan kadang mengandung pigmen, sehingga sulit mengevaluasi refleks cahaya, (2) terkait refleks gerakan bola mata, refleks okulovestibular dengan stimulasi kalorik sangat sulit dilakukan karena ukuran kanalis eksternus telinga masih sangat kecil, (3) adanya dehidrasi, iritasi, maserasi dari kornea dan penggunaan penutup mata (*eye patches*) bisa mempengaruhi pemeriksaan refleks kornea, dan (4) intubasi dengan

penggunaan *adhesive tape* untuk fiksasi pada wajah dan dagu akan mempersulit pemeriksaan refleks batuk dan menelan karena wajah yang mungil.

Pemeriksaan klinis terkait mati otak mulai bisa dilakukan bila etiologi penyebab koma sudah diketahui, sudah dipastikan bersifat permanen dan variabel-variabel yang bisa mempengaruhi hasil pemeriksaan sudah dikoreksi. Periode observasi antara pemeriksaan pertama dan kedua dilakukan selama 24 jam untuk neonatus (usia 37 minggu sampai 30 hari) dan 12 jam untuk bayi dan anak (usia 30 hari sampai 18 tahun).^{1,15,23} Pemeriksaan pertama bertujuan untuk memastikan berdasarkan pemeriksaan neurologis bahwa anak sudah memenuhi kriteria mati otak. Pemeriksaan kedua bertujuan untuk konfirmasi dan penentuan diagnosis mati otak, yang didasarkan pada hasil pemeriksaan neurologis yang tidak berubah dan bersifat permanen.^{1,15} Ketika pemeriksaan pertama, pengurangan waktu periode observasi dan penggunaan tes penunjang lain masih bisa dipertimbangkan dengan kriteria tertentu yang akan dijelaskan kemudian.

Sesuai dengan protokol dan undang-undang yang berlaku, juga direkomendasikan agar ada dua atau lebih dokter yang terkait untuk melakukan pemeriksaan klinis dan menetapkan diagnosis mati otak.^{1,15,23} Hal ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan salah diagnostik dan konflik kepentingan dalam menentukan mati otak. Terkait konsekuensi medis, psikis dan sosial yang bisa terjadi setelah diagnosis mati otak pada anak ditegakkan, maka pemeriksaan klinis sebaiknya dilakukan oleh praktisi medis yang sudah berpengalaman dalam menangani pasien neonatus, bayi dan anak serta mempunyai pengalaman dalam *neurocritical care*.^{15,23} Praktisi medis yang terkait ini harus mempunyai kompetensi dalam melakukan pemeriksaan klinis dan neurologis serta dapat menginterpretasikan hasil pemeriksaan penunjang.^{15,23} Dokter yang mempunyai kompetensi ini adalah pediatrik intensivis, neonatologist, pediatrik neurologist, ahli bedah saraf, ahli bedah anak dan pediatrik anesthesiologist.^{15,23} Dokter umum maupun residen sebaiknya juga harus mengerti dan membantu saat pemeriksaan, karena berhubungan dengan syarat-syarat klinis, alat bantu pemeriksaan dan prosedur komunikasi dengan keluarga.²³ Penentuan mati otak tidak boleh tergesa-gesa, berdasarkan permintaan keluarga atau aspek non medis lain.¹ Dokter mempunyai kewajiban untuk melakukan prosedur

Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



sesuai protokol dan mendiskusikan ke keluarga bila ada kesulitan dalam menentukan keputusan (*end-of-life decision*)¹⁶ dan menerangkan apa yang akan terjadi pada anak setelah diagnosis ditegakkan.¹

TES APNEA

Sesuai protokol mati otak pada anak tahun 2011, maka tes apnea harus dilakukan setelah pemeriksaan neurologis dilakukan.^{15,23} Hal ini untuk menentukan keadaan koma dan apnea memang sedang terjadi bersamaan. Hasil PaCO₂ arteri harus meningkat paling tidak 20 mmHg di atas nilai awal dan nilai akhir harus lebih dari 60 mmHg dan tanpa adanya napas spontan saat tes dilakukan.^{15,23} Tes apnea ini bisa dilakukan oleh dokter yang sama saat melakukan pemeriksaan klinis atau dokter yang merawat pasien dengan mesin napas di PICU.¹⁵ Ada beberapa kondisi yang merupakan kontraindikasi untuk tes ini, misalnya pasien dengan trauma servikal tinggi atau pasien dengan risiko tinggi (kebutuhan oksigenasi tinggi).^{1,15} Bila tes apnea tidak bisa dilakukan, maka tes penunjang yang lain perlu dipertimbangkan.^{1,15,23}

Prosedur tes apnea untuk anak pada dasarnya tidak berbeda dengan orang dewasa.¹⁴ Batas fisiologis normal untuk apnea (minimum PaCO₂ saat awal bernapas) pada anak tidak berbeda dengan orang dewasa, di mana level PaCO₂ pada 24 - 34 mmHg cukup adekuat untuk menstimulasi fungsi napas bila batang otak masih berfungsi.¹ Walaupun ada kesepakatan untuk tes apnea pada pasien dewasa disarankan PaCO₂ antara 44 - 60 mmHg, tetapi untuk anak sangat disarankan menggunakan angka 60 mmHg untuk batas kriteria.¹

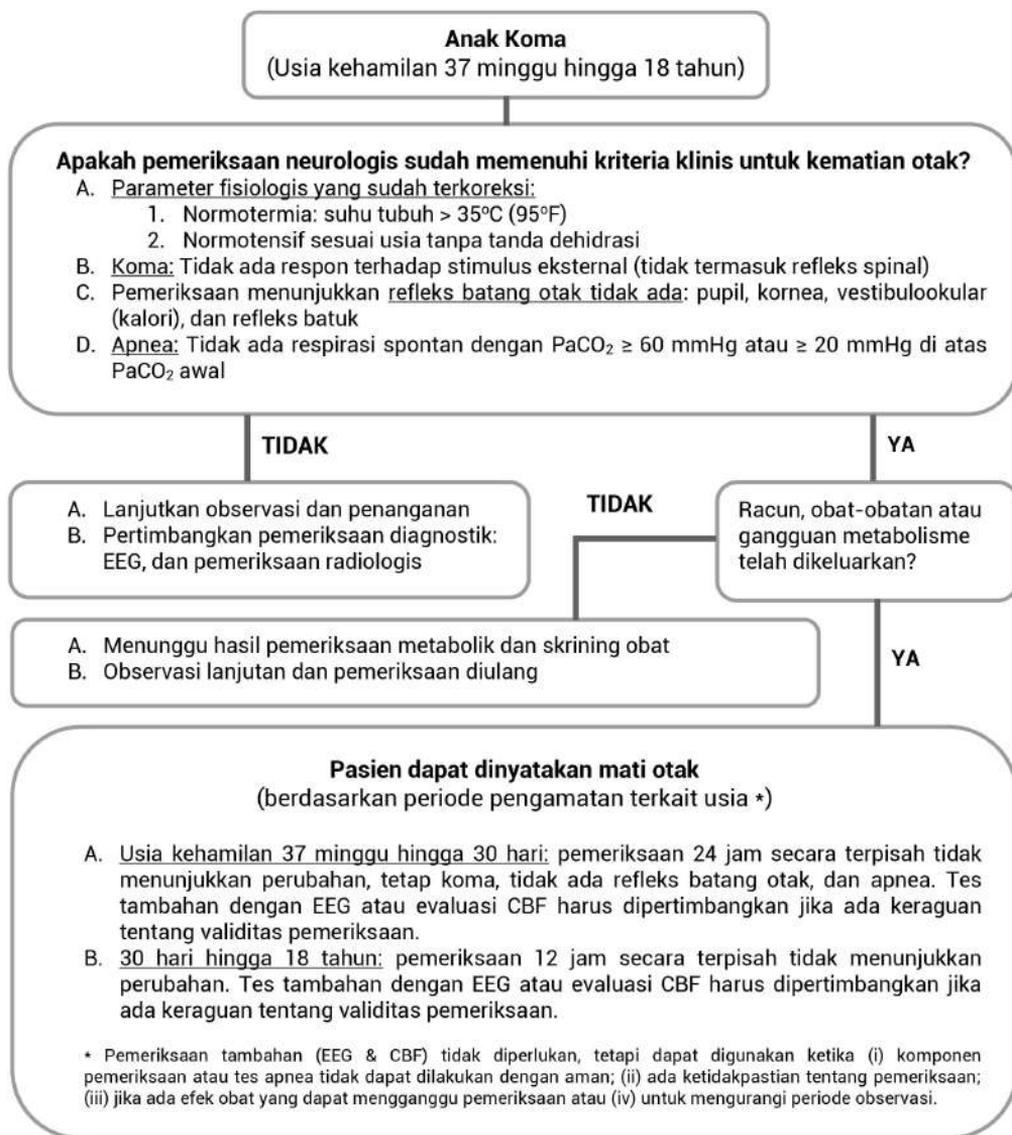
Pasien diberikan oksigenasi 100% sebelum tes dilakukan. PaCO₂ arteri harus diatur normal dengan mesin napas dan nilai lab gas darah harus dicatat.¹⁵ Saat tes dilakukan, oksigenasi saat apnea dipertahankan dengan kanula di *tube endotrakheal*.^{15,23} Observasi dilakukan selama 5 - 10 menit dengan tetap mempertahankan hemodinamik dan saturasi oksigen.^{15,23} Bila didapatkan upaya gerakan napas, maka tes dihentikan.^{15,23} Tidak adanya napas spontan dengan hasil PaCO₂ meningkat sampai 60 mmHg atau meningkat paling tidak 20 mmHg di atas nilai awal PaCO₂, maka bisa dinyatakan apnea.^{1,15,23}

Walaupun sudah ada protokol baku tentang mati otak pada anak, tetapi sebenarnya belum ada instruksi yang jelas bagaimana melakukan tes apnea yang benar-benar aman untuk anak.²³ Beberapa pertanyaan yang perlu dicermati adalah berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk preoksigenasi sebelum tes dilakukan, berapa batas optimal untuk nilai PaCO₂, bagaimana metode paling aman untuk *apneic oxygenation*, bagaimana mencegah terjadinya hipoksia dan hipotensi saat tes apnea dan berapa lama sebenarnya tes ini harus dilakukan.²³ Dalam literatur dilaporkan bahwa sekitar 10% dari proses tes apnea pada anak harus dihentikan, karena terjadi hipoksia dan hipotensi.²³ Banyak efek yang bisa terjadi akibat peningkatan kadar PaCO₂ dalam sirkulasi sistemik.^{15,23} Bisa terjadi peningkatan tekanan darah dan detak jantung akibat rangsangan simpatis,²³ sebaliknya tekanan darah juga bisa turun karena terjadi vasodilatasi akibat peningkatan PaCO₂.^{15,23}

PEMERIKSAAN PENUNJANG

Sesuai protokol yang telah disepakati, pemeriksaan penunjang pada dasarnya tidak diperlukan dan bukan kriteria tambahan untuk menentukan diagnosis mati otak, kecuali pemeriksaan neurologis dan tes apnea tidak bisa dilakukan dengan sempurna dan lengkap.^{1,15,23} Pemeriksaan penunjang dilakukan dengan beberapa indikasi;^{1,15} (1) bila ada komponen pemeriksaan neurologis dan tes apnea tidak bisa dilakukan secara lengkap, (2) bila ada kondisi atau variabel lain seperti pengaruh obat-obatan yang bisa mempengaruhi hasil pemeriksaan neurologis dan tes apnea, (3) bila hasil pemeriksaan neurologis masih meragukan, dan (4) untuk mempersingkat periode observasi karena alasan tertentu. Pemeriksaan penunjang ini sebenarnya adalah suatu tes konfirmasi, di mana tujuannya adalah bisa membantu praktisi medis dalam menentukan diagnosis mati otak.²³ Pemeriksaan penunjang ini juga bisa berguna dalam aspek psikososial di mana bisa meyakinkan keluarga dalam diagnosis mati otak bagi keluarganya (yang menjadi pasien).¹ Beberapa pemeriksaan penunjang yang direkomendasikan adalah angiografi serebral empat pembuluh darah lengkap, pemeriksaan aliran darah otak (*cerebral blood flow study*) dengan radionuklida dan elektroensefalografi (EEG).^{1,15,23}





Gambar 5.1 Algoritma Klinis Diagnosis Mati Otak pada Anak.¹

Pemeriksaan penunjang yang menunjukkan hasil positif adalah hasil angiografi serebral yang menunjukkan tidak adanya aliran ke intrakranial, radionuklida CBF menunjukkan hasil negatif dan *electrocerebral silence* pada EEG.^{15,23} Pemeriksaan angiografi serebral lebih jarang dipakai karena bersifat invasif, secara teknis sulit untuk pasien anak, risiko penggunaan bahan kontras

dan perlu transportasi ke ruang angiografi (*cath lab*).^{15,23} Pemeriksaan EEG dan radionuklida CBF lebih banyak dipakai untuk diagnosis mati otak.^{15,23}

PROSES PEMERIKSAAN

Dua pemeriksaan termasuk tes apnea dengan periode observasi tertentu antara keduanya harus dilakukan.^{1,15,23} Kedua pemeriksaan itu harus dilakukan oleh dua atau lebih orang dokter berbeda yang ikut merawat pasien atau berdasarkan ketentuan yang berlaku.^{15,23} Pemeriksaan pertama bertujuan untuk menentukan bahwa si anak sudah memenuhi kriteria klinis untuk diagnosis mati otak.^{15,23} Sedangkan pemeriksaan kedua oleh dokter lain bertujuan untuk menentukan mati otak berdasarkan hasil pemeriksaan yang tidak berubah dan bersifat permanen.^{15,23} Tes apnea bisa dilakukan oleh dokter yang sama, tetapi diutamakan sebaiknya yang menangani pengaturan alat bantu napas pasien di ICU.^{15,23} Jumlah dokter pemeriksa, kompetensi atau kualifikasi yang diperlukan masih belum ada kesepakatan dan sangat tergantung pada ketentuan lokal.^{15,23} Sebagai contoh di Yunani, diharuskan ada 3 dokter yang terlibat (ahli anastesi, ahli saraf/bedah saraf dan dokter yang merawat seperti ahli anak atau ahli bedah anak), yang sudah diakui dan 2 tahun berpengalaman di bidangnya.²³ Di Indonesia, secara umum perlu minimal 2 orang dokter yang memeriksa, biasanya bisa melibatkan dokter anak, ahli anastesi, ahli saraf atau ahli bedah saraf.^{6,9}

Secara legal, kematian dinyatakan setelah pemeriksaan dan tes apnea yang kedua.^{15,23} Waktu kematian pada keadaan mati otak sangat bervariasi, yang sangat dipengaruhi oleh faktor sosial, kultural dan religius lokal.²³ Penelitian di Yunani menunjukkan, rata-rata sertifikasi kematian adalah 2,74 hari setelah pemeriksaan kedua, terutama karena masih terjadi stres emosional yang tinggi dan perlu waktu bagi keluarga untuk menerima kenyataan terjadinya mati otak pada si anak.²³ Penelitian yang lain melaporkan pada 171 pasien anak dengan mati otak, 47% dilakukan penghentian bantuan napas 1,7 hari setelah diagnosis ditegakkan.²³ Pada 46% kasus di mana bantuan napas tetap diteruskan sampai berhentinya fungsi jantung terjadi, rata-rata sekitar 22,7 hari setelah mati otak ditegakkan.²³ Waktu paling pendek sekitar 8,52 jam



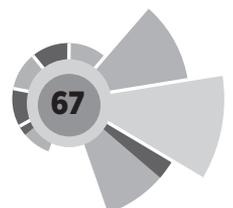
dilaporkan di Kanada dan periode paling panjang yang pernah dilaporkan adalah mencapai 4 tahun, yang pernah terjadi di Jepang.²³

Kematian seorang anak tentu menjadi beban emosional bagi keluarga.^{15,23} Peran perawat yang sering berhubungan dengan keluarga di ruangan sangat penting untuk memberikan penjelasan awal dan motivasi terkait kemungkinan terjadi mati otak.^{15,23} Sejak awal perawatan di PICU, sebaiknya keluarga sudah dijelaskan tentang penyakit yang diderita, rencana perawatan dan prognosis termasuk kemungkinan hal terburuk yang bisa terjadi.¹ Bila sejak awal tidak ada komunikasi, akan ada kemungkinan lebih lama bagi keluarga untuk bisa menerima keadaan mati otak, yang tentu berbanding lurus dengan proses sertifikasi.^{2,15} Saat ini, ada kecenderungan bahwa keluarga diberi kesempatan untuk melihat atau mendampingi saat melakukan prosedur atau resusitasi kardiopulmonal pada keadaan kritis.^{1,2,15} Tetapi, beberapa pihak berpendapat berbeda dan cukup riskan bila keluarga melihat langsung saat pemeriksaan mati otak.^{16,23} Beberapa mungkin bisa menerima dan memberi efek emosional yang positif, tetapi bisa terjadi efek yang sebaliknya bila saat pemeriksaan timbul refleks-refleks yang tidak diinginkan (refleks spinal).^{16,23} Keluarga akan mengira si anak masih ada kemungkinan hidup. Keluarga harus mengetahui bahwa bila diagnosis mati otak sudah ditegakkan, maka secara legal si anak sudah dinyatakan mati dan semua terapi dan *life support* termasuk bantuan napas harus dihentikan.^{1,4}

PERTIMBANGAN KHUSUS

Bayi Prematur.²³ Refleks batang otak belum terbentuk sempurna pada bayi prematur, contohnya refleks pupil terhadap rangsangan cahaya mulai timbul pada usia 30 minggu dan secara penuh bisa dideteksi saat usia kehamilan 32-35 minggu. Selain itu, respon pusat napas terhadap CO₂ belum terbentuk sempurna sampai usia 33 minggu kehamilan. Karena keadaan di atas dan belum adanya penelitian lanjutan, saat ini belum ada protokol ataupun ketentuan terkait mati otak pada bayi prematur di bawah umur 36-37 minggu.

Neonatus 37 minggu - 30 hari.²³ Semakin muda usia, maka semakin sulit untuk mendiagnosis mati otak. Pada bayi berusia 37 minggu sampai 30 hari,



ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Masih terdapat keraguan tentang kemungkinan refleks batang otak yang belum sempurna, sehingga waktu observasi diperpanjang sampai 24 jam untuk periode awal sebelum evaluasi dan periode antar dua pemeriksaan. Bila hasil meragukan, maka disarankan untuk mengulang pemeriksaan fisik dibanding melakukan pemeriksaan penunjang. Juga perlu lebih berhati-hati dalam melakukan tes apnea, karena kemungkinan lebih mudah terjadi komplikasi. Penggunaan pemeriksaan penunjang juga perlu dipertimbangkan karena sensitifitasnya kurang saat deteksi aktivitas listrik dan tes aliran darah otak dibanding usia yang lebih tua. Sehingga pemeriksaan klinis tetap merupakan pilihan utama dibanding pemeriksaan penunjang.

Anencephaly.^{14,15} Merupakan suatu kelainan *Neural Tube Defect*, di mana seorang bayi lahir tanpa serebrum dengan batang otak yang rudimenter. Bayi dengan *anencephaly* akan mengalami gangguan kesadaran dan refleks-refleks batang otak yang tidak lengkap. Meskipun batang otak mengalami rudimenter, tetapi kadang didapatkan aktivitas neuronal batang otak terkait aktivitas motorik pada beberapa pasien. Meskipun secara neuroanatomi dan neurofungsional tampak kelainan yang sangat berat dan permanen, tetapi bayi dengan *anencephaly* secara klinis tidak memenuhi kriteria mati otak. Selain itu, pemeriksaan penunjang seperti EEG dan tes aliran darah otak tidak bisa dilakukan karena tidak adanya hemisfer serebri. Penatalaksanaan sesuai protokol mati otak tidak bisa dilakukan, dan bila ada rencana untuk melakukan donor organ, maka kriteria mati harus berdasarkan kriteria henti napas dan jantung.

PERBEDAAN PROTOKOL

Berdasarkan protokol terbaru yang sudah disepakati untuk penentuan mati otak, pada dasarnya tidak jauh berbeda antara orang dewasa dan anak.^{14,15,23} Untuk evaluasi kondisi klinis sebelum pemeriksaan mati otak tidak banyak berbeda, hanya syarat kondisi temperatur tubuh untuk dewasa yang banyak disepakati adalah di atas 36°C tetapi untuk anak adalah di atas 35°C.^{1,15,23} Untuk periode observasi yang mungkin bisa dipersingkat dengan pemeriksaan



penunjang, dalam hal ini untuk orang dewasa adalah periode observasi sebelum pemeriksaan diagnosis mati otak yang pertama, sedangkan untuk pasien anak adalah periode observasi antara pemeriksaan diagnosis pertama dan yang kedua sebelum penentuan diagnosis mati otak.^{1,15,23}

Untuk kriteria hasil lab gas darah untuk mati otak, $\text{PaCO}_2 \geq 60$ mmHg (atau 20 mmHg meningkat dari PaCO_2 awal) adalah kriteria untuk orang dewasa. Berbeda untuk anak, dua kriteria tersebut harus ada ($\text{PaCO}_2 \geq 60$ mmHg dan 20 mmHg meningkat dari awal).^{14,15,23} Perbedaan lainnya adalah perlunya dua atau lebih dokter untuk menegakkan diagnosis mati otak pada anak, sebaliknya kadang cukup dilakukan oleh satu dokter pada pasien dewasa.^{14,15,23} Tetapi, rekomendasi syarat dua dokter ini masih banyak diperdebatkan, karena sebagian praktisi medis menganggap kriteria ini terlalu berlebihan dan terlalu lama sehingga menghambat proses donasi organ.^{15,23} Sesuai konsensus yang terbaru, periode interval pemeriksaan 24 jam untuk bayi baru lahir (37 minggu) sampai 30 hari dan 12 jam untuk umur 30 hari sampai 18 tahun.^{15,23} Hal ini menunjukkan perlunya observasi yang lebih lama untuk mencegah misdiagnosis mati otak terutama pada bayi dan neonatus. Mengenai dokter yang berkompeten, pada pasien anak memerlukan sertifikasi lebih khusus (*pediatric intensive care training*) dibanding pada dewasa.^{15,23} Tetapi pada beberapa institusi, hal ini tidak terlalu mengikat, ahli saraf ataupun ahli bedah saraf pun bisa dilibatkan sebagai salah satu dokter yang terlibat.¹⁵



BAB 6

ASPEK ETIK DAN LEGAL

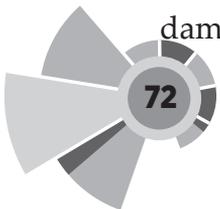
*Kasus Jahi McMath vs Oakland Children's Hospital.*¹⁴ Pada bulan desember 2013, seorang anak berusia 13 tahun yang dirawat di Oakland Children Hospital California, mengalami gangguan saluran pernapasan berat akibat komplikasi setelah operasi tonsilektomi dan adenoidektomi. Pihak rumah sakit menyatakan bahwa pasien Jahi McMath dinyatakan mati otak setelah dievaluasi oleh dua orang dokter yang berkompeten. Setelah dinyatakan 'mati', maka pihak rumah sakit berpendapat tidak ada lagi kewajiban untuk melanjutkan perawatan di rumah sakit seperti yang diminta pihak keluarga. Keluarga berpendapat bahwa putranya belum meninggal karena detak jantungnya masih ada dan kadang tangan dan kaki bergerak saat dirangsang. Mereka tetap meminta rumah sakit melanjutkan perawatan intensif karena mungkin masih ada harapan bagi anaknya untuk membaik. Selama 22 hari perawatan dan perdebatan, akhirnya pengadilan memutuskan terhadap *Kasus Jahi McMath vs Oakland Children's Hospital*, di mana telah terjadi kesepakatan antara rumah sakit dan keluarga. Jahi McMath akan dipindah ke rumah sakit lain untuk perawatan selanjutnya dan risiko saat pindah menjadi tanggung

jawab keluarga. Pada bulan Januari 2014, Jahi McMath dipindah ke rumah sakit di New Jersey. Akhirnya keluarga mengurus surat sertifikasi kematian di New Jersey untuk kepentingan asuransi medis.

*Kasus St. Joseph Hospital (Syracuse, New York).*⁴ Pada tahun 2009, tim dokter di Syracuse Hospital menyatakan bahwa pasien Colleen Burns telah meninggal akibat overdosis obat. Tubuh Colleen memang tidak bergerak sama sekali terhadap stimulus sampai beberapa waktu, sehingga pada waktu yang bersamaan disiapkan tindakan untuk pengambilan donor organ oleh tim dokter. Pada saat operasi pengambilan organ akan dilakukan di ruang operasi, tiba-tiba Colleen Burns membuka mata spontan. Sehingga operasi dibatalkan, keadaan ini disampaikan ke keluarga. Dua minggu kemudian, Collen sudah bisa keluar rumah sakit. Pada tahun 2013, Departemen Kesehatan New York memberikan teguran dan denda sebesar 6.000 dollar kepada rumah sakit karena dianggap tidak melakukan protokol diagnosis mati otak dengan benar. Selain itu, *Centers for Medicare and Medicaid Services (CMS)* memberikan sanksi ke Syracuse Hospital karena dianggap gagal melakukan penanganan dan evaluasi terhadap kasus yang terjadi. *Kasus donasi organ pada mati otak.*⁴ Pada tahun 2017, di suatu rumah sakit di Pennsylvania, seorang pelajar SMA menderita cedera kepala beratsaat olah raga ski. Dalam kasus pengadilan dengan tuntutan kepada pihak rumah sakit dan organisasi transplantasi organ, orang tua korban menduga bahwa mereka digiring untuk segera menyetujui proses pengambilan organ tubuh walaupun sebenarnya anak mereka belum dinyatakan mati, bahkan belum ada tanda-tanda menuju kematian. Mereka beranggapan bahwa sang anak tidak dirawat dengan baik dan seakan-akan malah dibunuh pelan-pelan, *'killed for his organs'*. Menurut mereka, sang anak sebenarnya masih punya kesempatan untuk hidup bila diterapi dengan baik. Mereka menuntut telah terjadi kecurangan, kelalaian dan malpraktik medis dalam penanganan di rumah sakit. Pada akhirnya pada tahun 2012, setelah terjadi kesepakatan, maka rumah sakit harus membayar lebih dari 1 juta dollar kepada pihak keluarga.

Banyak contoh kasus yang terjadi setelah konsep mati otak diterapkan. Konsep mati otak dalam implikasinya di rumah sakit ternyata mempunyai dampak yang luas, bukan saja dari sisi medis itu sendiri. Deklarasi mati

Mati Otak: Diagnosis dan Aplikasi Klinis



otak secara etis maupun legal harus benar-benar dilakukan sesuai protokol baku, tetapi aspek sosiokultural yang berhubungan dengan keluarga dan masyarakat juga perlu diperhitungkan untuk mengurangi dampak negatif yang tidak diinginkan.

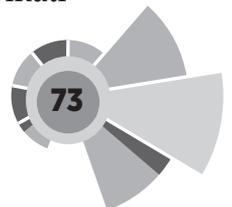
ALASAN UNTUK MENDEKLARASIKAN MATI OTAK

Ada alasan etis dan medis yang mengharuskan bagi dokter untuk mengetahui kriteria mati otak dan menerapkannya. Penentuan mati otak secara medis dan etis dianggap penting karena tiga alasan,^{6,9}

1. Program transplantasi membutuhkan donor organ yang sehat untuk meningkatkan keberhasilan. Diagnosis lebih awal dari mati otak sebelum terjadinya gangguan sirkulasi sistemik memungkinkan penyelamatan organ-organ tersebut. Namun, pertimbangan etika dan hukum menuntut bahwa jika seseorang pasien dinyatakan mati otak, maka kriteria yang digunakan harus jelas dan sesuai dengan protokol yang berlaku.
2. Kemampuan pengobatan modern untuk menjaga tubuh dengan kerusakan otak berat dalam jangka waktu yang lama adalah suatu keniscayaan. Fisiologi tubuh bisa dipertahankan optimal dengan bantuan mesin napas, antibiotik, dan obat-obatan vasopressor. Tetapi keadaan ini sering menyebabkan masalah yang berkepanjangan, biaya mahal dan kesiasaan disertai dengan tekanan emosional yang besar pada keluarga dan staf medis. Sehingga sangat penting untuk mengetahui kapan harus menentukan dihentikannya *life support*.
3. Fasilitas perawatan intensif bersifat terbatas dan mahal, maka mau tidak mau harus memilih pasien dengan prognosis yang lebih baik. Dokter dituntut untuk membuat kepastian pada kasus mati otak di ICU, sehingga peralatan yang tersedia bisa digunakan untuk pasien lain yang lebih membutuhkan.

KONSEP TIMUR DAN BARAT

Konsep mati otak lebih dahulu diterima dan lebih luas diberlakukan di negara-negara barat.²⁴ Hal ini diakibatkan karena penerimaan konsep mati



otak di masyarakat bukan saja berdasarkan konsep biologis semata, tetapi perlu juga konsensus secara sosiokultural bahkan juga perlu pandangan dari aspek religius.^{3,7,24} Di negara-negara timur, aspek sosiokultural dan religius ini masih sangat berperan.^{3,24} Penerimaan konsep mati otak sangat lambat di negara-negara timur.²⁴ Malaysia adalah negara blok timur pertama yang menerima konsep mati otak ini pada tahun 1993, atau 25 tahun setelah publikasi kriteria mati otak pertama dari Harvard University.²⁴ Meskipun kemajuan teknologi medis sama dengan negara barat, Jepang baru mempunyai aturan legal terkait mati otak pada tahun 1997.²⁴ Di Amerika Serikat sendiri, diperkirakan terdapat 15.000-20.000 kasus mati otak yang telah dilaporkan per-tahunnya, dengan angka insiden sekitar 48-64 setiap satu juta penduduk atau sekitar 1% dari seluruh kematian.²⁴ Pada tahun yang sama di Jepang, hanya terdapat 32 pasien yang dinyatakan mati, atau setara dengan 0,25 insiden setiap satu juta penduduk.²⁴

Aspek sosio-religius sangat berperan dalam kriteria mati di masyarakat timur. Pada tahun 1981, *Islamic Fiqh Academy* secara sepakat menerima dan mengizinkan adanya deklarasi mati berdasarkan kriteria hilangnya fungsi otak secara permanen.^{3,24} Tetapi saat itu masih banyak pertentangan di kalangan pemikir Islam. Sampai akhirnya *The Council of Islamic Jurisprudence* pada tahun 1986 secara resmi menyatakan bahwa mati otak adalah identik dengan mati.^{3,24} Meskipun sudah ada pernyataan secara resmi dari sudut pandang agama Islam, tetapi masyarakat umum masih tetap berpedoman pada aspek sosiokultural bahwa mati ditandai dengan berhentinya fungsi napas dan jantung.^{7,24}

Tabel 6.1 Perbedaan Pandangan Barat dan Timur tentang Hidup dan Mati.²⁴

Barat	Timur
Konsep pemisahan yang jelas antara tubuh dan jiwa	Pandangan hidup yang terintegrasi terdiri dari tubuh, roh, dan alam
Otak adalah organ yang dominan di mana menjadi pusat fungsi komando dan integrasi tubuh	Tidak ada kejelasan tentang bagian tubuh yang dominan
Jiwa atau roh hidup di otak	Jiwa/roh bersemayam di seluruh tubuh



Barat	Timur
Kehidupan dapat dijelaskan oleh hukum fisika	Kehidupan itu misterius
Ada batasan yang jelas antara hidup dan mati	Transisi yang ambigu dari hidup ke mati
Hidup harus dikontrol dan direncanakan	Hidup harus dinikmati dan dihormati
Upaya untuk mengendalikan bentuk dan waktu kematian	Upaya untuk membiarkan kematian datang secara alami
Nilai autonomi dan individual	Nilai hubungan interpersonal dan pendekatan yang terpusat pada keluarga

Sebelumnya pada tahun 1957, Paus Pius XII menyatakan bahwa seorang dokter mempunyai kekuasaan untuk menentukan kriteria mati, beliau juga menyatakan bahwa tidak ada gunanya untuk memperpanjang *life support* pada pasien dengan prognosis penyakit yang sangat buruk.²⁴ Setelah perdebatan lama di kalangan Katolik Roma, pada tahun 2000, Paus Johannes Paulus II menegaskan kembali tentang konsep *whole brain criteria* untuk diagnosis mati.^{3,24} Saat memberikan sambutan pada 18th *Congress of International Transplantation Society*, beliau menyatakan bahwa mati otak sesuai dengan kepercayaan dan ajaran agama Katolik.^{3,24}

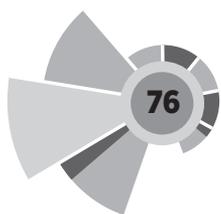
Pada dasarnya, kriteria mati otak juga sudah masuk dalam ranah agama, terutama di negara-negara timur, dan sudah ada kesepakatan-kesepakatan pada masing-masing agama. Tetapi tetap ada kultur tradisional ketimuran yang mengakar, misalnya kepercayaan Buddha yang menganut reinkarnasi dan melarang mutilasi, sehingga di beberapa negara Asia program transplantasi organ tidak begitu populer.²⁴ Dalam prinsip Shintoism dan Taoism, yang banyak dianut di Jepang dan China, konsep mati otak belum bisa diterima secara luas, karena sangat spesifik dan bersifat artifisial.²⁴ Menurut konsep mereka, kehidupan dan tubuh sulit dipisahkan dan juga berhubungan dengan alam sekitar.²⁴ Kematian adalah proses gradual yang melibatkan pemisahan antara obyek fisik dan spiritual.²⁴ Tampaknya, perbedaan cara pandang tentang mati antara barat dan timur sangat dipengaruhi oleh aspek sosiokultural yang mengakar di masyarakat. Dalam praktiknya, perlu pendekatan yang berbeda, dengan lebih mengedepankan komunikasi dan edukasi kepada keluarga,

pemuka agama dan masyarakat. Protokol diagnosis mati otak harus jelas, tetapi perlu dikondisikan dengan kultur dan agama masyarakat setempat.

ASPEK ETIK DAN LEGAL

Penentuan diagnosis mati berdasarkan kriteria neurologis yang berkembang pada tahun 1960-an tidak saja menimbulkan kontroversi di bidang medis, tetapi juga berdampak pada aspek etik dan legal yang terkait dengan penentuan kematian seseorang. Di Amerika Serikat, negara bagian Kansas adalah yang pertama kali menyetujui secara hukum adanya mati otak pada tahun 1970.⁴ Karena masih banyak kontroversi di negara bagian lain, maka pemerintah Amerika mendeklarasikan *Uniform Determination of Death Act (UDDA)*, tetapi tidak semua negara bagian langsung menyetujui hal tersebut.^{4,21} Kontroversi yang muncul adalah bahwa definisi mati secara legal atau hukum tidak sama dengan definisi kematian berdasarkan aspek biologis semata.^{4,21}

Saat pasien dinyatakan mati, maka penanganan medis bisa dihentikan dan tidak ada kewajiban lagi untuk melanjutkan perawatan.^{4,21,24} Hal ini sudah disepakati baik secara medis maupun hukum.^{4,21} Pihak rumah sakit juga tidak lagi mempunyai kewajiban melanjutkan penanganan medis terhadap pasien yang sudah dinyatakan mati.^{4,23} Tetapi, ada dua situasi di mana rumah sakit harus melanjutkan bantuan medis setelah pasien dinyatakan meninggal.⁴ Pertama, jika pasien adalah seorang organ donor, sehingga penanganan harus dilanjutkan sampai proses transplantasi dilakukan.⁴ Kedua, penanganan medis tetap dilanjutkan atas permintaan keluarga.⁴ Pada kasus organ donor, aspek legal sudah jelas dan disepakati secara luas. Sebaliknya untuk melanjutkan *physiological support* karena permintaan keluarga, masih belum jelas secara hukum dan sering terjadi kontroversi.⁴ Beberapa negara menyatakan bahwa rumah sakit secara hukum mempunyai kewajiban menuruti permintaan keluarga.^{4,6} Tetapi sebagian lain berpendapat, bahwa dokter dan rumah sakit mempunyai tanggung jawab dan kekuasaan penuh untuk menghentikan terapi suportif dan tidak memberikan alternatif kepada keluarga.^{6,9} Di Indonesia, praktik penghentian terapi suportif biasanya dilakukan secara bertahap untuk mengakomodir permintaan keluarga dan

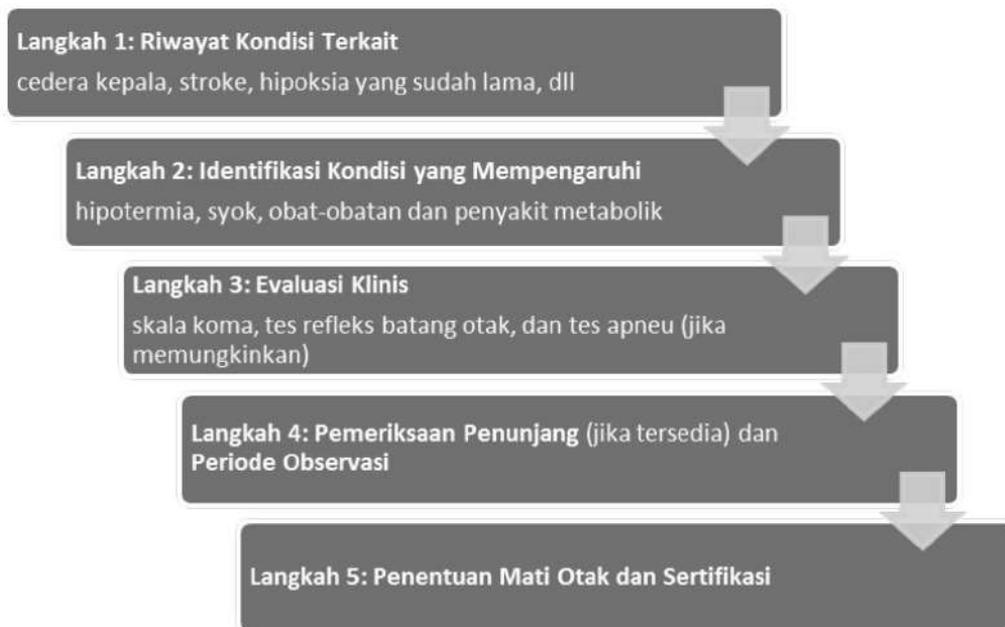


juga sesuai dengan kultur sosioreligius yang ada.⁷ Penghentian mesin napas dilakukan bertahap untuk kesan alami berhentinya jantung dan napas, selain itu, aspek pendekatan kekeluargaan dan penjelasan dari tim medis secara bertahap lebih dikedepankan sampai keluarga menerima.⁷

Meskipun secara medis konsep mati otak sudah diterima dan diberlakukan secara luas, tetapi masih sering terjadi kesalahpahaman dan konflik. Hal ini akhirnya tentu saja membutuhkan kepastian hukum, karena konflik antara keluarga pasien dan tim dokter masih sering terjadi. Mati otak adalah kriteria medis yang harus diketahui dan disepakati bukan saja di dunia medis tapi juga di khalayak masyarakat luas.

PROSES SERTIFIKASI

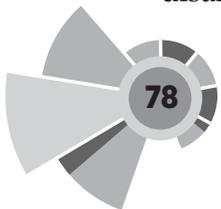
Sertifikasi mati otak harus dilakukan sesuai dengan kebijakan institusi dan peraturan yang berlaku.^{6,9} Sertifikasi ini harus mencakup protokol yang berisi pemeriksaan klinis, pemeriksaan penunjang, frekuensi serta interval antar tes tersebut.^{6,9} Tim yang terdiri dari tiga orang dokter yang mempunyai kompetensi dengan pengalaman dalam sertifikasi mati otak harus dilibatkan dalam proses pemeriksaan sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2014.^{15,21} Protokol harus dipatuhi untuk mengurangi kemungkinan kesalahan diagnosis mati otak. Pada kasus transplantasi organ, dokter yang bertanggung jawab sebaiknya tidak terlibat dalam penentuan status mati otak dari donor organ potensial untuk menghindari konflik kepentingan.^{6,9} Sertifikasi mati otak setara dengan pernyataan kematian, dan waktu yang terdokumentasikan untuk sertifikasi ini dianggap sebagai waktu kematian secara medis dan hukum.^{6,15} Menyatakan kematian adalah tugas dokter.⁶ Mencari persetujuan untuk sertifikasi mati otak kadang cukup sulit, tetapi keluarga tetap harus diberitahu dan dilibatkan secara aktif.



Gambar 6.1 Algoritma Praktis untuk Menentukan Mati Otak.^{6,9}

Gambar 6.1 adalah algoritma sederhana yang direkomendasikan oleh penulis untuk digunakan pada institusi dengan kurangnya fasilitas dan peralatan seperti halnya di Indonesia.

Beberapa kriteria (dan peraturan perundang-undangan) menunjukkan bahwa dua atau lebih dokter harus menyetujui diagnosis mati otak, terutama ketika pengambilan organ menjadi pertimbangan.^{6,9} Jika EEG dilakukan, pemeriksa hasil EEG mungkin bisa sebagai dokter kedua.⁶ Namun jika diagnosis telah dilakukan dengan baik dan diperoleh hasil yang jelas, dan jika dokter yang terlibat memang sudah terlatih dan berpengalaman, tampaknya wajar dan bisa diterima bagi seorang dokter tunggal untuk menyatakan kematian otak.^{6,9} Setelah seorang pasien dinyatakan mati otak, maka peralatan pendukung kehidupan secara hukum sudah dapat dihentikan. Beberapa pihak berpendapat bahwa dokter memiliki wewenang dan tanggung jawab untuk menghentikan mesin napas dan segala jenis perawatan pendukung kehidupan lainnya ketika seorang pasien meninggal dan bahkan alternatif pilihan untuk melanjutkan perawatan tidak perlu disampaikan kepada keluarga.⁷ Beberapa



lainnya berpendapat tetap harus meminta izin dari keluarga untuk melepas mesin napas dan menghentikan perawatan.



Daftar Pustaka

- American Academy of Pediatrics. Clinical report - Guidelines for the determination of brain death in Infants and children: An update of the 1987 task force recommendations. *Pediatrics*. 2011
- Arbour RB. Brain death: assessment, controversy, and confounding factors. *Crit care nurse*. 2013;33(6)
- Bernat JL. The concept and practice of brain death. *Progress in brain research*. 2005;150:369-379
- Burkle CM, Pope TM (2015). *Brain death: legal obligations and the courts*. Brain Death Wijdicks EFM (editor). Thieme. p.174 – 179
- De Georgia MA. History of brain death as death: 1968 to present. *J. Crit Care*. 2014;29(4):673-678
- Fauzi AA, Wahyuhadi J. Brain Death ; Diagnosis and Clinical Application. *Journal of Medical Science and Clinical Research*. 2014;2(4):768-781
- Fauzi AA. Mati otak sebelum 'mati'. *Opini Jawa Pos*. 2016
- Fauzi AA. Sudden Death dan Kekerasan pada Kepala. *Opini Jawa Pos*. 2018
- Fauzi AA. Understanding Brain Death. *Media Bedah Saraf, The Official Journal of The Indonesian Neurosurgical Society*. 2004;2 (3)
- Gireesh K, Arunkumar R (1997). *Brain Death*. Chennai. South India Publications Limited. p.78
- Hwang DY, Gilmore EJ, Greer DM. Assessment of Brain Death in the Neurocritical Care Unit. *Neurosurg Clin N Am*. 24;2013:469-482
- Kauffman HM (1998). *Brain death following head injury*. In Narayan RK, Wilberger JE, Povlishock JT. Eds.: *Neurotrauma*. McGrawhill Company. Chap. 56, p.824

- Kramer AH. Ancillary testing in brain death. *Semin Neurol*. 2015;15:125-138
- Machado M (2007). *Brain death a reappraisal*. New York: Springer
- Mathur M, Ashwal S. Pediatric brain death determination. *Seminars in neurology*. 2015;35:116-124
- Muramoto O. Informed consent for the diagnosis off brain death: a conceptual argument. *Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine*. 2016;11(8):1-15
- Powner DJ, et al (1995). *Controversies in brain death certification*. In Ayres SM. Ed.: *Textbook of Critical Care* 3th ed. Boston. WB Saunders Company. Chap. 173, p 1580
- Sadanandan R (2012). *Transplantation of Human Organs – Declaration of Brain Death Mandatory in Government and Private Hospitals in the State – Procedure for Declaration of Brain Death*. Health & Family Welfare Department, Government of Kerala, India. Available from: http://www.dme.kerala.gov.in/pdf/gov_orders/go_ms_36_2012.pdf
- Sawicki M. CT angiography in the diagnosis of Brain death. *Pol J Radiol*. 2014;79:417-421
- Slivka A, Hinkle J, Taylor R, Chandos DG, Harman AP (2011). *Clinician's Guide to Establishing the Diagnosis of Brain Death in Adults*. The Ohio State University Medical Center, Evidence-Based Practice Clinical Resources. Available from: <https://ccme.osu.edu/EnduringFiles/116Guideline%20-%20Medical%20Center%20Evidence%20Based%20Medicine.pdf>
- Spinello IM. Brain death determination. *Journal of Intensive Care Medicine*. 20;10:1-12
- Szurhaj W. EEG guidelines in the diagnosis of brain death. *Neurophysiologie Clinique*. 2015;49:97-104
- Volakli EA, et al (July 12th 2017). *Brain Death in Children*, Intensive Care Nissar Shaikh, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.68468. Available from: <https://www.intechopen.com/books/intensive-care/brain-death-in-children>
- Yang Q, Miller G (2015). *East-West differences in perception of brain death. Review of history, current undrstanding and directions for future research*. Bioethical Inquiry. Springer





Glosarium

A

- Abses** Luka yang muncul akibat infeksi bakteri.
- Adenoidektomi** Tindakan medis tertentu yang dilakukan pada kelenjar adenoid
- Afektif** Yang berkaitan dengan sikap dan nilai; mencakup watak perilaku seperti perasaan, minat, sikap, emosi, dan nilai.
- Algor mortis** Tahap kedua dari proses kematian; perubahan suhu tubuh post mortem, hingga terjadi kesesuaian dengan suhu lingkungan.
- Amitriptyline** Obat antidepresan trisiklik yang digunakan untuk mengobati masalah kejiwaan/mood, seperti depresi.
- Anamnesis** Kegiatan komunikasi yang dilakukan antara dokter sebagai pemeriksa dan pasien yang bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang penyakit yang diderita dan informasi lainnya yang berkaitan sehingga dapat mengarahkan diagnosis penyakit pasien.
- Anarthria** Ketidakmampuan dalam mengeluarkan kata-kata.

Anastesia	Suatu tindakan untuk menghilangkan rasa sakit ketika melakukan pembedahan atau prosedur lainnya yang menimbulkan rasa sakit pada tubuh.
Angiografi serebral	Suatu tindakan yang ditujukan untuk memberikan gambaran tentang kondisi pembuluh darah serta aliran darah di daerah cerebral dengan memanfaatkan x-ray.
Anoksia	Kondisi tubuh yang kehabisan oksigen.
Anterior	Bagian depan.
Anteroposterior	Bidang imajiner yang membentang dari depan ke belakang dan dari atas ke bawah.
Antibiotik	Segolongan obat, baik alami maupun sintetis, yang mempunyai efek menekan atau menghentikan suatu proses biokimia di dalam organisme, khususnya dalam proses infeksi oleh bakteri.
Antidepresan	Golongan obat untuk mengobati depresi.
Antikonvulsan	Golongan obat yang digunakan dalam pengobatan kejang/epilepsi.
Apnea	Keadaan terhentinya pernapasan secara tiba-tiba.
Aritmia	Suatu tanda atau gejala dari gangguan detak jantung atau irama jantung.
Arkus zygoma	Lengkungan tulang yang memanjang di sepanjang depan atau sisi tengkorak di bawah orbit (tulang sekitar mata)
Arteri basilaris	Arteri yang berasal dari persimpangan dua arteri vertebralis kanan dan kiri.
Arteri vertebralis	Arteri yang terletak di bagian belakang leher dan menyuplai darah ke bagian belakang otak.



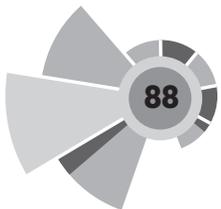
Arteriole	Arteri kecil yang berakhir di kapiler. Arteriol berfungsi sebagai pembuluh yang membawa darah dari jantung ke jaringan tubuh.
Ascending aorta	Bagian dari aorta yang dimulai di bagian atas pangkal ventrikel kiri.
Asfiksia	Gangguan dalam pengangkutan oksigen (O ₂) ke jaringan tubuh yang disebabkan terganggunya fungsi paru-paru, pembuluh darah, ataupun jaringan tubuh.
Asidosis	Kondisi yang terjadi ketika kadar asam di dalam tubuh sangat tinggi.
Atlanto-occipital junction	Area di leher belakang yang merupakan batas antara tulang leher atas dan bagian bawah tengkorak
Atropin	Obat yang digunakan untuk menangani spasme pada perut dan usus, kandung kemih, dan saluran empedu.
Axillary puncture	Salah satu metode tusukan pada kateterisasi dengan tempat di area aksilla.
B	
Basal ganglia	Struktur di otak bagian dalam yang terutama berfungsi untuk gerakan motorik tubuh.
Biopsi	Tindakan diagnostik yang dilakukan dengan mengambil sampel jaringan atau sel untuk dianalisis di laboratorium untuk mendiagnosis suatu penyakit.
Bleb	Luka lecet/melepuh yang besar, berisi cairan serosa; sebutan untuk kelainan berupa rongga yang mudah pecah dari pembuluh darah atau paru-paru.

Bolus	Pemberian obat dengan cara memasukkan obat ke dalam pembuluh darah vena atau melalui karet selang infuse dengan menggunakan suntikan.
Bradikardia	Kondisi individu yang memiliki denyut jantung yang lambat, biasanya di bawah 60 denyut per menit bagi orang dewasa.
Bretylum	Obat antiaritmia.
Bulbar	Area otak yang terdiri atas serebelum, medula dan pons.
C	
Cadaveric spasm	Keadaan yang jarang terjadi pada saat kematian berupa kekakuan otot dan berlanjut ke periode rigor mortis.
Cairan serebrospinal	Sejenis cairan tubuh yang menempati ruang sub-arachnoid dan sistem ventrikular yang menyelimuti otak dan sumsum tulang belakang.
Cardiopulmonary arrest	Kondisi di mana detak jantung berhenti secara tiba-tiba.
Carina	Tonjolan tulang rawan di trakea yang berada pada percabangan dua bronkus utama.
Carotid siphon	Segmen berbentuk U atau S pada arteri karotis interna.



Cathlab	Tempat untuk prosedur atau tindakan kateterisasi diagnostik invasif dengan menggunakan sinar-x untuk menampilkan gambaran dan kelainan pembuluh darah di berbagai organ tubuh.
Cerebral contusion	Cedera otak traumatis; memar pada jaringan otak.
Cerebral panarteriography	Pemeriksaan angiografi seluruh pembuluh darah otak.
D	
Defibrilasi	Suatu tindakan medis untuk mengembalikan normalitas detak jantung dengan menggunakan aliran listrik dalam waktu yang singkat.
Diazepam	Salah satu jenis obat benzodiazepine yang dapat mempengaruhi sistem saraf otak dan memberikan efek penenang.
Diensephalon	Struktur otak di bagian dalam, dekat ventrikel 3.
Diffuse axonal injury	Kelainan yang seringkali terjadi akibat cedera rotasi akselerasi yang sering menyebabkan keadaan vegetatif yang menetap pada pasien.
Digital Substraction Angiography	Pemeriksaan yang memberikan gambar lumen (permukaan bagian dalam) pembuluh darah, termasuk arteri, vena dan serambi jantung.
Dilatasi	Pengembangan (pemuaian) suatu rongga atau lumen.

Direct puncture	Menusuk pembuluh darah secara langsung dengan jarum.
Diseksi	Tindakan membedah untuk mempelajari bagian dalam dari suatu organisme.
Distal	Istilah anatomi/morfologi yang berarti posisi lebih di bawah.
Doppler Sonography	Ultrasonografi medis yang menggunakan efek Doppler untuk menghasilkan pencitraan gerakan dari sebuah jaringan dan cairan tubuh serta kecepatan relatifnya.
Doppler Transkraniial	Tes untuk mengukur kecepatan aliran darah di pembuluh darah otak.
Dorsum	Anatomi sisi bagian atas pada hewan, atau berarti punggung pada organisme tegak.
Drainage ventrikel	Mengalirkan cairan dari ventrikel otak keluar.
E	
Edema	Istilah yang digunakan untuk merujuk pada kondisi bengkak pada jaringan lunak.
EEG isoelektrik	Proses pencatatan listrik otak yang menunjukkan koma yang sangat dalam.
Ekskresi	Proses pembuangan sisa metabolisme dan benda tidak berguna lainnya.
Ekstrakranial	Penyebutan/istilah untuk keadaan atau organ di luar rongga tengkorak



Electrocerebral silence	Tidak ada aktivitas EEG di atas 2 uV ketika merekam otak.
Electroencephalogram	Hasil tes yang dilakukan untuk mengukur aktivitas kelistrikan dari otak.
Elektrokardiogram	Grafik hasil perekaman aktivitas kelistrikan jantung pada waktu tertentu.
Emboli	Kondisi di mana aliran darah terhambat akibat benda asing (embolus), seperti bekuan darah atau udara.
Ensefalitis	Peradangan pada jaringan otak setempat (lokal) atau seluruhnya (global).
Ensefalopathy Metabolik	Kumpulan gejala klinis dari kerusakan otak yang diakibatkan kelainan sistemik.
Ensefalopati hepatik	Kumpulan gejala klinis gangguan fungsi otak akibat kegagalan fungsi hati.
Evoked potentials	Potensi listrik yang dicatat dari sistem saraf manusia setelah dilakukan stimulus.
F	
Faring	Tenggorokan yang merupakan bagian dari sistem pencernaan.
Farmakologis	Berkenaan dengan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan obat-obatan.
Femoral	Berhubungan dengan tulang paha atau paha.
Flaccid	Otot yang lunglai atau lemas.

Fontanella	Bagian lunak pada tengkorak bagian atas kepala bayi.
Forensik	Cabang ilmu kedokteran yang berhubungan dengan penerapan fakta-fakta medis dalam bidang hukum.
Fossa	Rongga atau cekungan, biasanya berada pada tulang.
Fraktur	Setiap retak atau patah pada tulang.
Fraktur depresi kalvaria	Fraktur tulang kranium dimana lapisan luar masuk ke arah selaput otak hingga melebihi lapisan dalam tulang.
Gentamicin	Jenis antibiotik golongan aminoglikosida yang dapat digunakan untuk mengobati infeksi bakteri gram negatif.
Glasgow Coma Scale	Skala neurologis yang bertujuan untuk menilai kesadaran secara efektif dan obyektif.
H	
Hemisfer serebri	Dua sisi lobus otak yang membagi otak besar secara simetris.
Hemodinamik	Dinamika dari aliran darah.
Herniasi otak	Kondisi ketika jaringan otak bergeser dari posisi normalnya.
Hidrosefalus obstruktif	Hidrosefalus yang disebabkan oleh penyumbatan cairan serebrospinal di dalam sistem ventrikel otak.
Hipofosfatemia	Gangguan elektrolit di mana kadar fosfat lebih rendah dari normal.



Hipoksemia	Rendahnya kadar oksigen dalam darah, khususnya di arteri.
Hipoksia	Suatu kondisi di mana jaringan tubuh kekurangan oksigen.
Hipotensi	Keadaan ketika tekanan darah di dalam arteri lebih rendah dibandingkan normal dan biasa disebut dengan tekanan darah rendah.
Hipotermia	Suhu tubuh lebih rendah dari normal.
Histopatologis	Cabang ilmu yang mempelajari kondisi dan fungsi jaringan dalam hubungannya dengan penyakit. tertentu
Hypnotic trance	Keadaan setengah sadar yang disebabkan oleh penggunaan hipnosis.
Hypothalamus	Bagian dari otak yang terdiri dari sejumlah nukleus dengan berbagai fungsi yang sangat peka terhadap steroid, glukokortikoid, glukosa dan suhu.
I	
Infark	Kerusakan jaringan karena perubahan sirkulasi darah atau kurangnya pasokan oksigen.
Intoksikasi	Keracunan, masuknya zat atau senyawa kimia dalam tubuh manusia yang menimbulkan efek merugikan.
Intubasi	Tindakan medis berupa memasukan tabung endotrakeal melalui mulut atau hidung untuk menghubungkan udara luar dengan kedua paru.

Invasif	Prosedur medis yang biasanya berupa memotong atau menusuk kulit atau dengan memasukkan instrumen tertentu ke dalam tubuh.
Iskemia	Kekurangan suplai darah ke jaringan atau organ tubuh karena permasalahan pada pembuluh darah.
J	
Japan Coma Scale	Skala kesadaran yang digunakan secara luas di Jepang dengan empat tingkatan.
K	
Kalvaria	Tulang kepala.
Kanalis eksternus	Saluran bagian luar (istilah ini biasanya digunakan pada telinga)
Kanula	Tabung yang dimasukkan ke dalam tubuh, baik untuk menambahkan atau mengurangi cairan.
Kapiler	Pembuluh darah terkecil di tubuh, yang menghubungkan arteri dan vena.
Kardiopulmonal	Berkaitan dengan organ jantung dan Paru-paru.
Kardiovaskular	Yang berhubungan dengan jantung dan pembuluh darah.
Karotis	Sepasang pembuluh darah yang terletak di bagian dalam leher yang mengantarkan darah ke otak dan kepala.



Katalepsy	Suatu keadaan abnormal yang ditandai oleh gangguan kesadaran, sikap, dan otot tubuh.
Kateterisasi	Istilah umum yang digunakan untuk rangkaian prosedur pencitraan untuk memasukkan kateter ke dalam jaringan tubuh.
Ketoasidosis diabetik	Sebuah komplikasi diabetes memetakan yang disebabkan oleh tingginya produksi asam darah tubuh yang disebut keton.
Kista	Tumor jinak yang terbungkus selaput berisi cairan yang tidak normal.
Kondilus	Tonjolan bulat pada tulang dan diliputi tulang rawan yang membentuk persendian dengan tulang lain.
Koronal	Bidang vertikal yang melalui tubuh, letaknya tegak lurus terhadap bidang median atau sagital. membagi tubuh menjadi bagian depan (frontal) dan belakang (dorsal).
Korteks serebri	Bagian permukaan dari otak besar dengan fungsi tertentu.
Kraniektomi dekompresi	Sebuah prosedur bedah saraf yang mengangkat suatu bagian tengkorak, untuk memungkinkan otak yang membengkak mendapat ruang untuk mengembang, sehingga terjadi pengurangan tekanan (dekompresi).

L

Lateral	Bidang anatomis yang terletak pada bagian pinggir.
----------------	--

Lesi	Istilah kedokteran untuk merujuk pada keadaan jaringan yang abnormal pada tubuh.
Lipophilic	Sifat yang dapat larut dalam lemak.
Livor mortis	Salah satu tanda kematian, yaitu mengendapnya darah ke bagian bawah tubuh, menyebabkan warna merah-ungu di kulit.
Locked-In Syndrome	Kondisi di mana pasien sadar tetapi tidak dapat bergerak atau berkomunikasi secara verbal karena kelumpuhan total hampir semua otot polos di seluruh tubuh kecuali gerakan mata vertikal dan berkedip.
M	
Maserasi	Terkelupas atau hilangnya jaringan akibat proses nekrosis
Mecloqualone	Salah satu jenis obat-obatan yang bersifat penenang, hipnotik dan ansiolitik yang digunakan untuk pengobatan insomnia.
Medulla oblongata	Bagian dari batang otak paling bawah, berfungsi terutama untuk pusat saraf pernafasan
Meningitis	Peradangan yang terjadi pada meningen, yaitu lapisan pelindung yang menyelimuti otak.
Meningoencephalitis	Peradangan pada selaput meningen dan jaringan otak.
Meprobamate	Obat yang digunakan untuk mengobati gejala kecemasan dan kegelisahan.
Mesensefalon	Struktur batang otak paling atas (di atas pons).



Methaqualone	Obat penenang dan obat tidur.
Midriasis	Sebuah kondisi yang ditandai dengan pupil mata yang melebar.
Mioklonus spinal	Gerakan abnormal dari sekelompok otot sesuai dengan segmen tertentu dari inervasi sumsum tulang belakang..
Mitokondria	Organel intra sel tempat berlangsungnya fungsi respirasi sel dan metabolisme.
Mutism	Keadaan seseorang yang tidak mempunyai kemampuan berbicara secara normal.
N	
Nasopharyngeal	Yang berkaitan dengan nasofaring (area di belakang hidung, tepat di belakang rongga mulut dan tenggorokan.
Nefrotoksik	Obat yang bersifat 'meracuni' atau mengganggu fungsi ginjal.
Nekrosis	Bentuk cedera sel yang mengakibatkan kematian prematur sel akibat proses tertentu.
Neokorteks	Bagian struktur otak di bawah korteks, merupakan 80% dari seluruh materi otak manusia.
Neonatus	Bayi berumur 0 (baru lahir) sampai dengan usia 28 hari.
Neuroanatomi	Cabang ilmu yang mempelajari struktur dan organisasi dari sistem saraf.

Neuroendokrin	Berkaitan dengan sistem saraf dan endokrin.
Neurointensivist	Seorang dokter yang memiliki spesialisasi dalam perawatan pasien yang menderita penyakit saraf kritis.
Neurologis	Berkaitan dengan neurologi; dokter spesialis saraf, baik struktur maupun kelainannya.
Neuromuskular	Sinapsis histokimia yang dibentuk oleh kontak antara sel neuron dan serat otot.
Neuropathi kranial	Kondisi dimana terjadi kerusakan pada salah satu dari 12 saraf kranial.
Neuropatologi	Sebuah subspecialisasi patologi yang berhubungan dengan penyakit otak, sumsum tulang belakang, saraf perifer dan otot.
Normokarbia	Kedadaan tekanan karbon dioksida arteri normal, biasanya sekitar 40 mmHg.
0	
Obat antikolinergik	Obat yang mempengaruhi fungsi persarafan.
Obat sedatif	Obat penenang; jenis obat-obatan yang memberikan efek tidur dengan cara memberikan rasa tenang.
Okulocephalik	Istilah medis yang berkaitan dengan mata dan kepala (sering dikaitkan dengan gerakan refleks).



Onset	Waktu yang dibutuhkan obat untuk menimbulkan efek mulai obat itu diberikan.
Opasifikasi	Pemburaman (dalam istilah radiologi).
Ophtalmik	Yang berkaitan dengan struktur bola mata.
Opiat	Senyawa narkotika yang ada dalam tiap kandungan obat sebagai pengilang rasa nyeri.
Orbita	Rongga tulang yang berisi bola mata.
Orofaringeal	Yang berubungan dengan bagian tenggorokan tepat di belakang mulut (termasuk pangkal lidah (sepertiga belakang lidah), langit-langit lunak (bagian belakang atap mulut), amandel, dan sisi dan dinding belakang tenggorokan).
Oscillating flow	Gambaran pola perubahan aliran listrik secara periodik.
Ototoksik	Sifat atau keadaan tertentu dapat mengganggu fungsi telinga.
P	
Paralisis	Hilangnya fungsi motorik atau kekuatan dari otot.
Paralisis lower cranial nerve	Gangguan fungsi saraf kranial bagian bawah.
Patofisiologi	Ilmu yang mempelajari gangguan fungsi pada organisme yang sakit meliputi penyebab, perjalanan penyakit sampai akibatnya.

Patologi	Pemeriksaan dan diagnosis penyakit melalui pemeriksaan organ, jaringan, cairan tubuh, dan seluruh tubuh (autopsi).
Pons	Salah satu bagian dari batang otak yang terletak di atas medula oblongata dan di bawah mesensefalon.
Positive pressure ventilation	Tekanan saluran napas diterapkan pada jalan napas pasien melalui tabung endotrakeal atau trakeostomi.
Posterior	Istilah anatomi yang berarti bagian belakang.
Post-hyperventilation apneu	Gagal nafas setelah periode hiperventilasi.
Processus clinoid	Tonjolan tulang pada os sphenoid.
Prognosis	Ramalan tentang peristiwa yang akan terjadi, khususnya yang berhubungan dengan penyakit atau penyembuhan setelah operasi.
Proksimal	Istilah anatomi yang berarti di bagian atas atau luar.
Psikiatri	Bidang medis yang mengkhususkan diri pada kesehatan mental mulai dari diagnosis, pengobatan, dan pencegahan.
Q	
Quadriplegia	Kelumpuhan total tubuh termasuk empat anggota gerak.



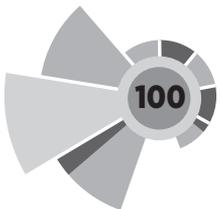
R

Radionuklida	Isotop dari zat radioaktif.
Radionuklida imejing	Teknik pencitraan yang digunakan untuk memvisualisasikan bagian tubuh dengan menyuntikkan zat radioaktif ke dalam tubuh.
Radiopaque	Bagian tubuh yang sulit ditembus oleh sinar X.
Resusitasi	Tindakan pertolongan pertama pada orang yang mengalami kegawatan karena sebab-sebab tertentu.
Reticular formation	Satu sistem sirkuit saraf yang saling berhubungan yang terletak di batang otak.
Retrograde brachial	Salah satu tehnik kateterisasi dengan menggunakan pembuluh darah brachial sebagai <i>puncture site</i> .
Rigor mortis	Salah satu tanda fisik kematian. Kaku mayat dapat dikenali dari adanya kekakuan yang terjadi secara bertahap sesuai dengan lamanya waktu pasca kematian hingga 24 jam setelahnya.
Rostral	Menuju ke arah hidung atau rostrum.
Rostral pons	Bagian otak di depan atas pons.
Rostrokaudal	Menuju ke arah atas dan bawah.
Rudimenter	Organ yang tidak berkembang.



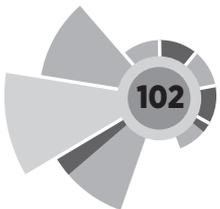
S

Scalp	Area jaringan lunak yang menutupi tengkorak, dari kulit sampai ke dalam.
Sedasi	Penggunaan agen-agen farmakologik untuk menghasilkan depresi tingkat kesadaran secara cukup.
Serebellum	Otak kecil, yang memiliki fungsi utama untuk mengontrol koordinasi dan kesetimbangan.
Shaken baby syndrome	Cedera otak serius yang disebabkan oleh guncangan yang keras pada bayi.
Sinap	Titik temu antara ujung saraf dengan sel saraf lain.
Sinaptik	Hubungan antara sel-sel saraf.
Skull base	Area dan struktur bagian dasar tengkorak.
Somatosensori	Sistem indra yang mendeteksi sensasi rasa sentuhan atau tekanan, suhu, sakit, termasuk juga posisi.
Stasis	Penyumbatan atau perlambatan aliran.
Stetoskop	Sebuah alat medis akustik untuk memeriksa suara dalam tubuh.
Stimulus taktil	Stimulus berupa perabaan, belaian, dan sentuhan.
Subintimal	Berkaitan dengan area di bawah intima atau selaput yang melapisi pembuluh darah.
Subkortikal	Area otak di bawah korteks.



Sudden infant death syndrome	Kematian mendadak pada bayi sehat berusia di bawah 1 tahun tanpa ada gejala apapun sebelumnya.
Supraorbital	Daerah tepat di atas rongga mata; daerah alis.
Supratentorial	Area intrakranial yang terletak di atas tentorium.
Sutura	Sendi yang rapat dan hanya ditemukan pada tulang tengkorak.
Systolic spikes	Gambaran tekanan darah sistolik yang meningkat.
T	
Tegmentum	Sistem multisynaps yang berperan dalam ketidaksadaran, homeostasis, pergerakan, serta gerak refleks. Tegmentum terletak di bagian bawah midbrain.
Tegmentum pontine	Bagian dari pons yang terletak dorsal ke pons basal dan ventral ke ventrikel keempat.
Tekanan darah sistolik	Tekanan darah pada saat terjadi kontraksi otot jantung.
Tekanan intrakranial	Nilai tekanan di dalam rongga tengkorak.
Tekanan perfusi serebral	Tekanan aliran darah ke otak, normalnya konstan karena adanya autoregulasi.
Temporomandibular	Sendi yang melekat pada dasar tulang tengkorak yang berfungsi untuk mengunyah, menguap, berbicara, dan lain-lain.
Thalamus	Bagian dalam otak yang terletak di antara otak besar dan otak tengah.

Toksikologi	Ilmu tentang bahan atau obat yang bersifat racun terhadap tubuh.
Tonsilektomi	Operasi pengangkatan tonsil/amandel.
Tonus	Kontraksi yang terus dipertahankan oleh otot.
Trakhea	Saluran udara dari hidung menuju paru-paru.
Transplantasi	Cangkok atau pemindahan seluruh atau sebagian organ dari satu tubuh ke tubuh yang lain, atau dari suatu bagian ke bagian yang lain pada tubuh yang sama.
Trauma maksilofasial	Keadaan cidera pada daerah wajah, baik tulang maupun jaringan lunak.
Trauma servikal	Keadaan cidera pada tulang belakang di leher.
Tricyclic antidepressants	Jenis obat yang digunakan terutama sebagai antidepresan.
Trombosis	Proses koagulasi dalam pembuluh darah yang berlebihan sehingga menghambat aliran darah, atau bahkan menghentikan aliran tersebut.
Trychloroethylene	Bahan kimia yang banyak digunakan dalam industri yang juga ditemukan dalam air minum, air permukaan dan tanah.
Tube endotrakeal	Sebuah tabung plastik kecil yang dimasukkan ke trakea melalui mulut atau hidung untuk memberikan oksigen atau obat anestesi.
Tulang kalvaria	Bagian atas dari tulang tengkorak.



U

Uremia Sebuah sindrom atau kumpulan gejala komplikasi serius akibat kadar urea dalam tubuh sangat tinggi.

V

Vaskular Pembuluh darah arteri dan vena.

Vasodilatasi Pelebaran diameter pembuluh darah yang terjadi ketika otot-otot di dinding pembuluh darah mengendur (rileks).

Vasomotor Menyangkut saraf yang mengatur pelebaran atau penyempitan pembuluh darah.

Vasopressor Golongan obat-obatan yang berfungsi untuk menaikkan volume-menit jantung dan tekanan darah.

Vasospasme Penyempitan pembuluh darah mendadak, pengurangan diameter dan laju alirannya.

Vena jugularis Pembuluh darah yang terletak di leher, berfungsi untuk mengalirkan darah dari kepala, otak, wajah dan leher menuju jantung.

Venography Tes radiologi untuk pembuluh darah vena dengan menggunakan medium kontras.

Ventral Istilah anatomi yang dipakai untuk menyatakan sisi depan dari suatu bagian tubuh.

Vertebrobasilar Sistem pembuluh darah posterior otak.

Vestibular

Sebuah sistem yang bertanggungjawab terhadap orientasi tubuh dalam ruangan, baik saat kita sedang duduk, berdiri, tidur, dan lain sebagainya.

Volisional

Yang berhubungan dengan kebiasaan dan kemauan bertindak.

X**Xenon-enhanced CT**

Metode *computed tomography* (CT scan) yang digunakan untuk neuroimaging dengan memakai gas xenon.



Indeks

A

Apnea 4, 6, 7, 11, 26, 27, 28, 30, 32, 33, 39, 43, 44, 45, 52, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 66, 68

B

Beyond coma 4, 11

C

Coma depasse 4, 11, 12

D

Death of the nervous system 4

Definisi mati otak 39

Deklarasi Harvard tentang mati batang otak 6

Diagnosis mati 3, 12, 16, 18, 21, 23, 24, 25, 28, 29, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 61, 62, 64, 66, 67, 69, 72, 75, 76, 77, 78

F

Fungsi kesadaran dan pernapasan 13

K

Katalepsy dan hypnotic trance 2

Kegagalan otak secara menyeluruh 8

Kematian berdasarkan kriteria fungsi kardiovaskular dan fungsi neurologis 7

Koma 4, 6, 7, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 42, 45, 47, 59, 62, 63, 88

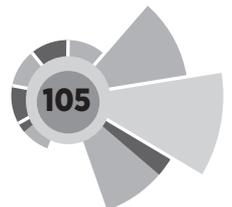
Konsep berhentinya fungsi jantung 3

Konsep dan prosedur diagnosis mati otak pada anak 57

Konsep mati batang otak 6, 17, 26, 31

Konsep Mati Otak 19

Konsep otak secara utuh (whole brain) 7



Kriteria mati otak 5, 6, 9, 25, 28, 29,
33, 34, 42, 49, 62, 68, 73, 74, 75

M

Meninggal akibat gagal napas 2

P

Pemeriksaan Refleks Batang Otak
31

Penanganan pasien koma dengan
kelainan saraf otak yang berat 3

S

Sertifikasi mati otak 77

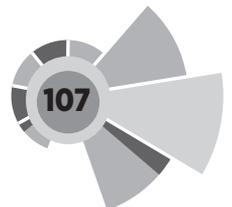
T

The Council of Islamic
Jurisprudence 74



Lampiran

1. Sertifikasi mati batang otak. Contoh dari Departemen Kesehatan & Kesejahteraan Keluarga, Pemerintah Daerah Kerala, India.¹⁸
2. Algoritma untuk mendiagnosis mati otak pada bayi dan anak. Rekomendasi dari American Academy of Pediatrics.¹
3. Algoritma praktis untuk mendiagnosis mati otak pada orang dewasa. Rekomendasi dari The Ohio State University Medical Center.²⁰



Sertifikasi Mati Batang Otak
Contoh dari Departemen Kesehatan & Kesejahteraan Keluarga,
Pemerintah Daerah Kerala, India.¹⁸

BRAIN-STEM DEATH CERTIFICATE

Patient Details:

1. Name of the Patient: Shri/ Smt. / Km.
S/o. / W/o / D/o : Shri
Sex..... Age.....

2. Home Address:
.....
.....
.....

3. Hospital Number:

4. Name and address of next of kin or person responsible for the patient (if none exists, this must be specified)
.....
.....

5. Has the patient or next of kin agreed to any transplant?
.....
.....

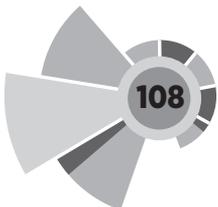
6. Is this a Police Case? Yes..... No.....

Pre-Conditions:

1. Diagnosis: Did the patient suffer from any illness or accident that led to irreversible brain damage? Specify details:
.....

Date and time of accident/onset of illness:

*lanjut halaman selanjutnya



Date and onset of non-responsible coma:

2. Findings of Board of Medical Experts:

(i) The following reversible cause of coma have been excluded:-

Intoxication (Alcohol)

Depressant Drugs

Relaxants (Neuromuscular blocking agents)

First Medical Examination Second Medical Examination

1st

2nd

1st

2nd

Primary hypothermia

Hypovolaemic shock

Metabolic of endocrine disorders

Test for absence of brain-stem functions

(ii) Coma

(iii) Cessation of spontaneous breathing

(iv) Pupillary size

(v) Pupillary light reflexes

(vi) Doll's head eye movements

(vii) Corneal reflexes (Both sizes)

(viii) Motor response in any cranial nerve distribution, any responses to stimulation of face, limb or trunk

(ix) Gag reflex

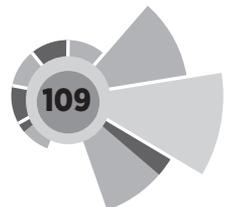
(x) Cough (Tracheal)

(xi) Eye movements on coloric testing bilaterally

(xii) Apnoea tests as specified

**lanjut halaman selanjutnya*

Lampiran



Date and time of second testing:

This is to certify that the patient has been carefully examined twice after an interval of about six hours and on the basis of findings recorded above,

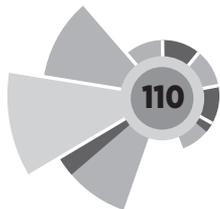
Shri / Smt / Km..... is declared brain-stem dead.

1. Medical Administrator In charge of the hospital. 2. Authorised Specialist.

3. Neurologist / Neuro-Surgeon. 4. Medical Officer treating the patient.

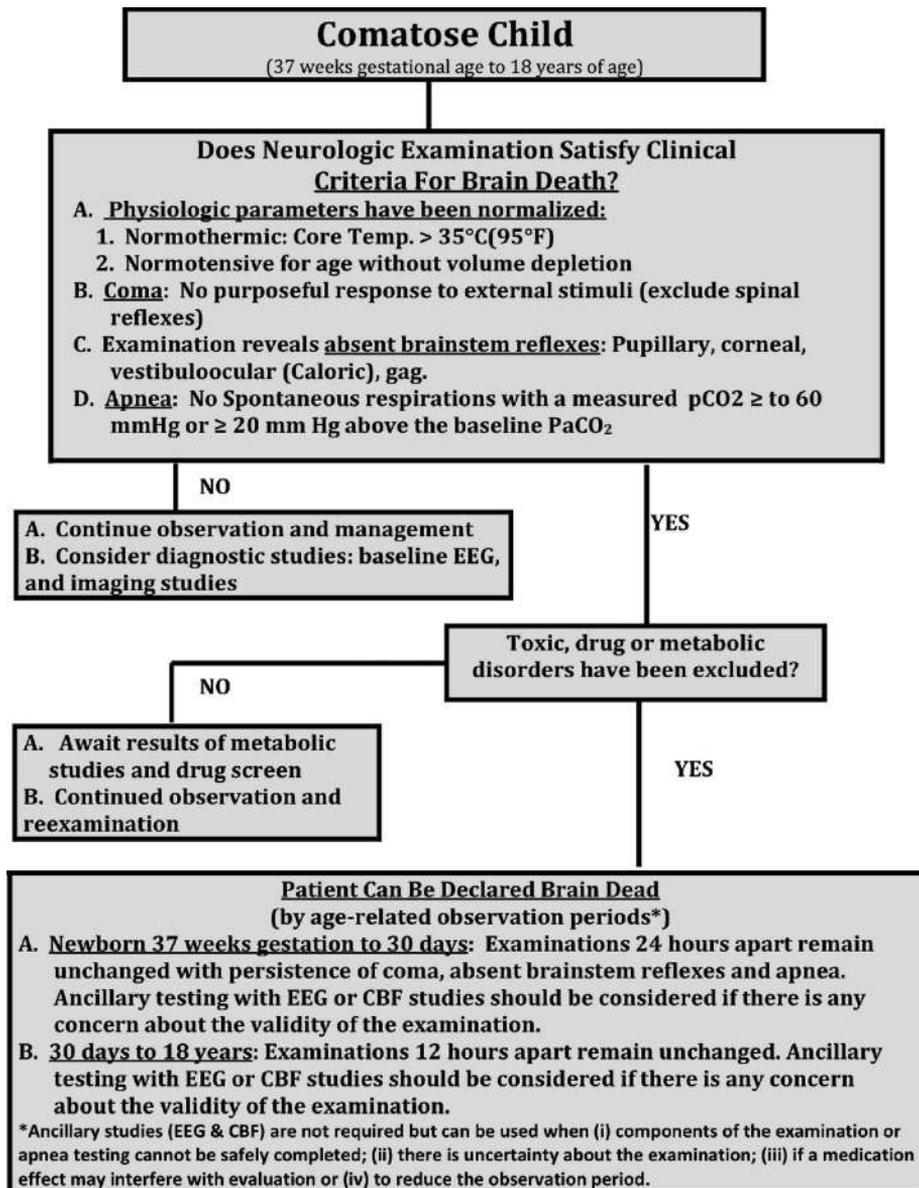
N.B I. The Minimum time interval between the first testing and second Testing will be six hours.

II. No. 2 and No. 3 will be co-opted by the Administrator in charge of the hospital from the panel of experts approved by the Appropriate Authority.



Algoritma untuk Mendiagnosis Mati Otak pada Bayi dan Anak

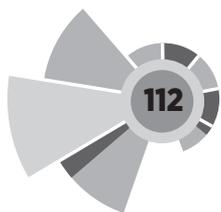
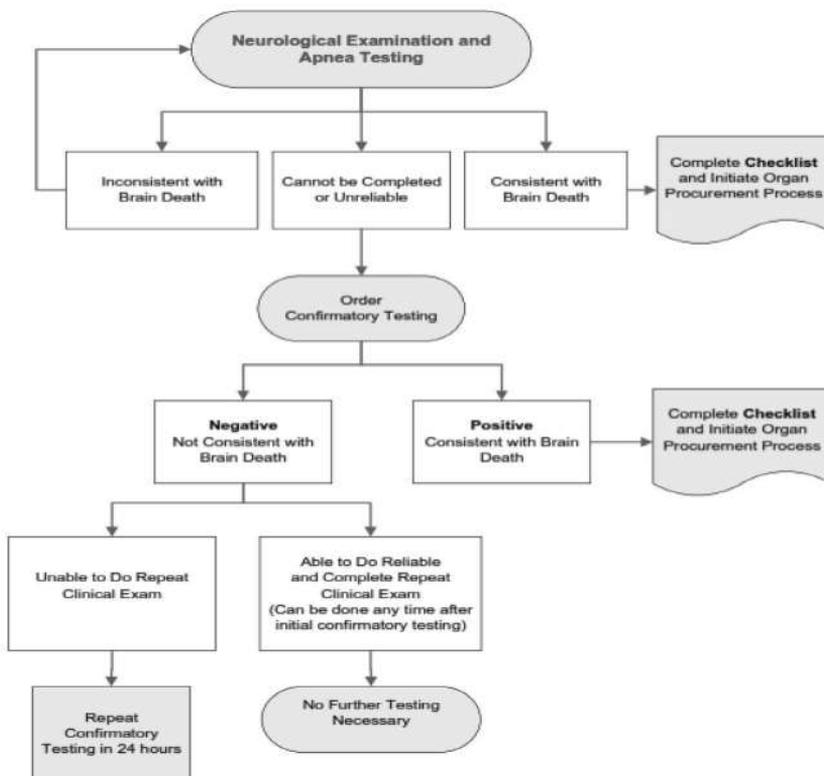
Rekomendasi dari American Academy of Pediatrics.¹



Algoritma praktis untuk mendiagnosis mati otak pada orang dewasa. Rekomendasi dari The Ohio State University Medical Center.²⁰

2

Brain Death Determination Process Flowchart



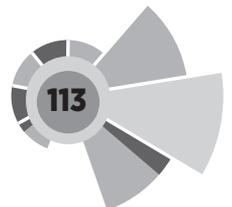


Biodata Penulis

Dokter Asra merupakan sekretaris jenderal dari Perhimpunan Spesialis Bedah Saraf Indonesia (PERSPEBSI) periode 2017 - 2021 dan ASEAN Neurosurgical Society (Persatuan Spesialis Bedah Saraf ASEAN). Selain itu, saat ini Beliau didapuk sebagai ketua Surabaya Neuroscience Institute (SNei). Dalam lingkup internasional, Beliau menduduki jabatan sebagai Executive Board Member di beberapa perhimpunan bedah saraf internasional, di antaranya; Asian Congress of Neurosurgical Societies (ACNS), International Society of Minimally Invasive Techniques in Neurosurgery (ISMINS), International Conference on Cerebrovascular Surgery (ICCVS) dan World Federation of Neurosurgical Societies - Neurosurgery Technology Committee yang berpusat di Jenewa, Swiss.

Beliau aktif sebagai International Fellow of American Association of Neurological Surgeons (AANS), dan Fellow of the International College of Surgeons (ICS), sebuah tanda bahwa Dokter Asra merupakan dokter bedah saraf yang diakui di dunia internasional baik sebagai seorang pendidik, peneliti, penulis, maupun instruktur di bidang bedah saraf.

Selain menyandang sarjana kedokteran sejak tahun 1996, ayah dari dua anak perempuan ini juga menyelesaikan sarjana ekonomi pada tahun 2001 dan mendapatkan spesialisasi bedah saraf dari Universitas Airlangga Surabaya pada tahun 2007. Ketertarikannya pada ilmu yang mempelajari kelainan otak dan pembuluh darah, membawanya ke Jepang (tahun 2007-2008) untuk lebih memperdalam ilmunya kepada Profesor Shigeaki Kobayashi di Stroke and Brain Center Aizawa Hospital, Matsumoto City dan di Department of Neurosurgery Shinshu University Hospital, di bawah asuhan Profesor Kazuhiro Hongo. Setelah itu, Beliau juga menempuh Cerebrovascular Surgery Training di St. Louis University, Missouri, USA pada tahun 2010. Seakan tidak pernah hilang rasa hausnya akan ilmu pengetahuan, dokter yang pernah menjadi dokter teladan nasional pada tahun 1998 ini, menyelesaikan pendidikan Magister Manajemen (MM) dari Universitas Ciputra Surabaya pada Oktober 2017 dengan prestasi Summa Cumlaude hingga mendapat penghargaan Best Graduation Awards dari Universitas Ciputra.





Biodata Penerbit



Nama : PT Indeks
Tahun Berdiri : 2003
Tahun Penerbitan Buku Pertama : 2003
Tanda Daftar Perusahaan : 09.02.1.46.26829
Alamat : Permata Puri Media, Jl. Topaz Raya Blok
C2
No. 16, Kembangan Utara, Jakarta Barat
11610
Telepon : 021-58350047; 021-5835039
Faksimile : 021-58350365
Customer Service : 021-58350047; 021-5835039
Akun Facebook : Penerbit Indeks
Website : www.indeks-penerbit.com
Email : indeks@indeks-penerbit.com

