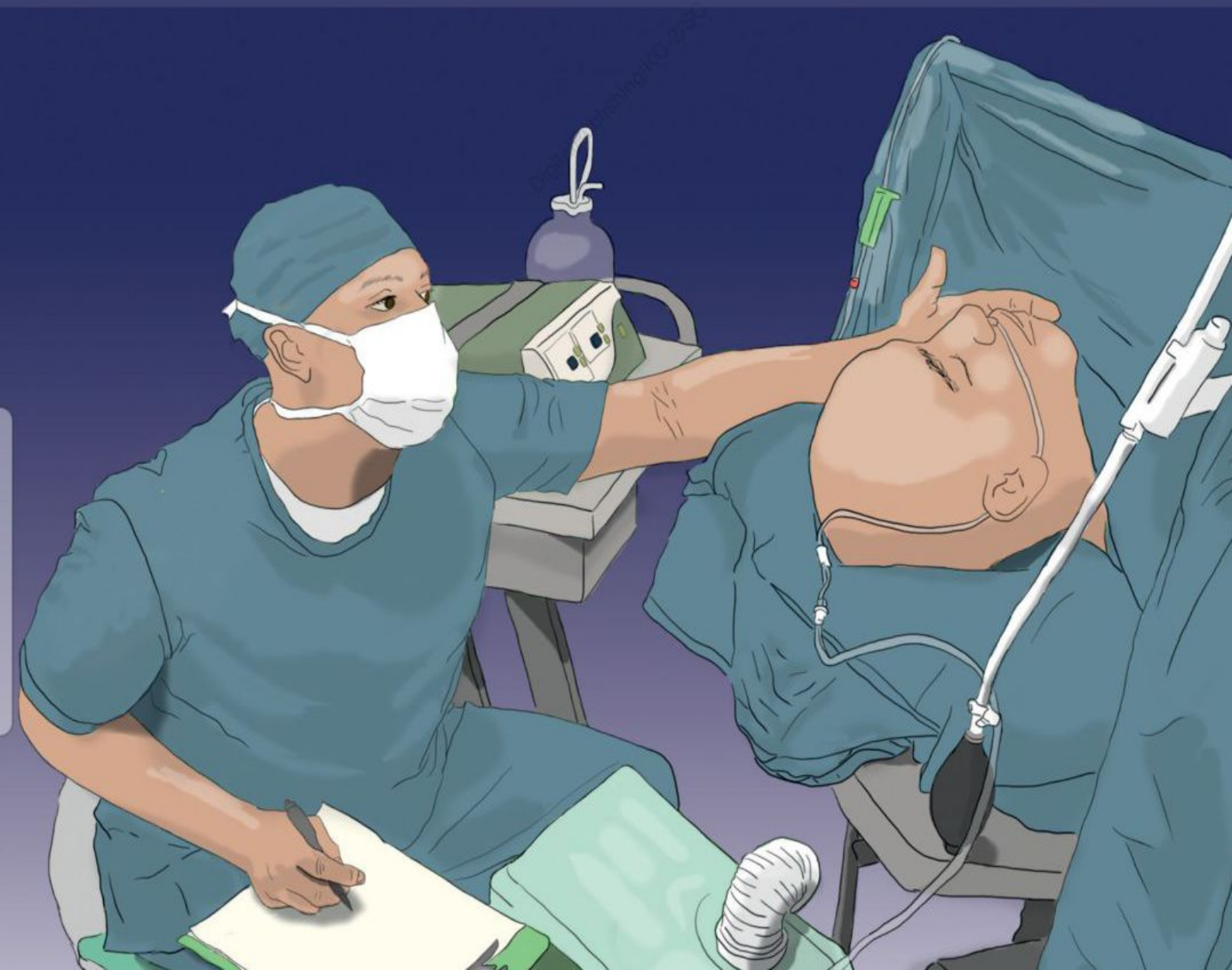


Anestesiologi dan Terapi Intensif

Buku Teks KATI-PERDATIN

N. Margarita Rehatta | Elizeus Hanindito | Aida R. Tantri
Ike S. Redjeki | R. F. Soenarto | D. Yulianti Bisri
A. M. Takdir Musba | Mayang I. Lestari



Edisi Pertama

Anestesiologi dan Terapi Intensif

Buku Teks KATI-PERDATIN

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014
tentang Hak Cipta**

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g, untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Edisi Pertama

Anestesiologi dan Terapi Intensif

Buku Teks KATI-PERDATIN

N. Margarita Rehatta | Elizeus Hanindito | Aida R. Tantri
Ike S. Redjeki | R. F. Soenarto | D. Yulianti Bisri
A. M. Takdir Musba | Mayang I. Lestari



Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta



Anestesiologi dan Terapi Intensif

Buku Teks KATI-PERDATIN

N. Margarita Rehatta | Elizeus Hanindito | Aida R. Tantri
Ike S. Redjeki | R. F. Soenarto | D. Yulianti Bisri
A. M. Takdir Musba | Mayang I. Lestari

GM 619206003

© Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama
Gedung Gramedia Blok I, Lt. 5
Jl. Palmerah Barat 29-37, Jakarta 10270

Tim Redaksi:

Angela Christina, Annemarie Chrysantia Melati, Annisaa Yuneva, Claudia Lunaesti,
Deriyan Sukma Widjaja, Edwin Kilian Deges, Fransisca Dewi Kumala, Ignatia Novianti Tantri,
Indah Lestari, Karina Sonata Miguna, Luther Holan Parasian Napitupulu, Meliani Anggreni,
Steven Yoe, Tissyy Fabiola

Tata letak isi:

Fajarianto, Suprianto, Mulyono,
Ryan Pradana, Sukoco

Ilustrasi dan desain cover:

Media Aesculapius & Isran Febrianto

Diterbitkan pertama kali oleh
Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama
Anggota IKAPI, Jakarta, 2019

www.gpu.id

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian
atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

ISBN: 978-602-06-3372-5

ISBN Digital:

Dicetak oleh Percetakan PT Gramedia, Jakarta
Isi di luar tanggung jawab Percetakan

KATA PENGANTAR KETUA PP PERDATIN

Assalaamualaikum wr. wb.,

Syukur, alhamdulillah, kita panjatkan ke hadirat Allah Swt., Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat-Nya kita dapat menerbitkan *Anesthesiologi dan Terapi Intensif: Buku Teks KATI-PERDATIN*.

Saat ini, banyak tuntutan untuk meningkatkan dan menambah pelayanan di bidang kedokteran, termasuk bidang anestesi dan terapi intensif. Sehubungan dengan hal itu, dokter spesialis dan subspecialis Anesthesiologi dan Terapi Intensif harus berperan aktif dalam menambah dan meningkatkan pelayanan tersebut, baik mengenai jenis prosedur baru, jumlah prosedur non-invasif, prosedur yang dilakukan di luar kamar bedah yang membutuhkan tenaga anestesi, pelayanan pasien kritis di ICU, pelayanan nyeri di rumah sakit, maupun pelayanan kegawatdaruratan.

Penatalaksanaan perioperatif juga sangat membutuhkan peran aktif dokter spesialis Anesthesiologi dan Terapi Intensif dalam mempersiapkan pelayanan bagi pasien yang mempunyai masalah kesehatan yang kompleks. Keadaan tersebut memberikan kesempatan sekaligus tantangan yang harus dijawab oleh para dokter tersebut dengan pelayanan yang bermutu yang menjamin keamanan pasien.

Dokter spesialis Anesthesiologi dan Terapi Intensif di Indonesia membutuhkan peningkatan kompetensi secara berkesinambungan dengan latar belakang pengetahuan dan keterampilan dan keterampilan yang mumpuni untuk memberikan pelayanan yang optimal. Pendidikan menjadi salah satu pilar penting dalam pembentukan dokter spesialis Anesthesiologi dan Terapi Intensif yang kompeten. Sesuai visi Perhimpunan Dokter Spesialis Anesthesiologi dan Terapi Intensif (PERDATIN), yaitu mewujudkan pelayanan anestesi dan terapi intensif yang berkualitas, optimal, dan profesional, PERDATIN sangat mendukung penyusunan buku teks *Anesthesiologi dan Terapi Intensif* ini. Buku ini diharapkan dapat mendukung pendidikan dokter spesialis dan subspecialis anesthesiologi dan terapi intensif agar nantinya mereka dapat memiliki bekal keilmuan yang cukup untuk memberikan pelayanan yang prima kepada masyarakat.

Saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. dr. Nancy Margarita Rehatta, Sp.An, KNA, KMN selaku ketua tim editor dan ketua Kolegium Anesthesiologi dan Terapi Intensif (KATI) yang sudah mengawal proses penyusunan buku ajar ini sampai buku ini dapat diterbitkan. Terima kasih juga saya ucapkan kepada tim editor yang sudah menuangkan kemampuan yang luar biasa dalam mengorganisasi dan mengedit naskah buku ini sehingga menjadi buku ajar yang sinergis antara satu bagian dan bagian lainnya serta bersifat komprehensif bagi pembacanya. Tidak lupa, saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua kontributor yang sudah meluangkan waktu dan ilmunya untuk menyusun naskah buku ajar ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembacanya serta dapat meningkatkan kualitas pelayanan anestesi dan terapi intensif di Indonesia.

dr. Andi Wahyuningsih Attas, Sp.An, KIC, MARS

KATA PENGANTAR KETUA TIM EDITOR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas terbitnya *Anestesiologi dan Terapi Intensif: Buku Teks KATI-PERDATIN* ini. Buku ini disusun dengan tujuan menjadi salah satu standar referensi yang dapat diterima di seluruh pusat pendidikan anestesi di Indonesia, dan juga bagi praktik anestesi dan terapi intensif di Indonesia. Terdiri dari 17 bagian, buku ini mengulas mulai dari fisiologi dan farmakologi yang berhubungan dengan anestesi dan terapi intensif, sampai praktik manajemen anestesi, penanggulangan nyeri, kegawatdaruratan serta terapi intensif pada berbagai prosedur dan komorbid pasien.

Anestesiologi dan Terapi Intensif adalah ilmu yang berkembang dengan sangat pesat dalam dekade terakhir. Menyadari luasnya cakupan Anestesiologi dan Terapi Intensif, kami mengajak seluruh program studi pendidikan dokter spesialis anestesiologi dan terapi intensif serta keseminatan yang ada di Indonesia untuk bersama-sama menyelesaikan buku ini. Kami berharap buku ini dapat berguna tidak hanya bagi mahasiswa dan peserta didik program pendidikan dokter spesialis anestesiologi, tetapi juga bagi pengembangan keprofesian dokter spesialis dan subspecialis anestesiologi di Indonesia. Kami bersyukur bahwa dalam proses yang cukup panjang ini—sejak penulisan awal hingga proses penerbitan—semua pihak dapat bekerja sama dengan sangat baik sehingga akhirnya buku ini dapat menjadi buku yang isinya cukup komprehensif.

Terima kasih saya ucapkan pada semua kontributor yang telah memberikan waktunya untuk meluapkan ilmu yang dimilikinya dalam bentuk tulisan-tulisan di buku ini. Tidak lupa saya juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim editor yang telah mengatur, menilik, dan mempercepat proses persiapan naskah serta proses lainnya sampai pada penerbitan buku ajar ini. Proyek pembuatan buku ini tidak akan terwujud tanpa kerja keras semua pihak yang memiliki kerinduan yang sama untuk menyusun bahan referensi anestesiologi yang baik di Indonesia.

Akhir kata, saya selaku ketua Kolegium Anestesiologi dan Terapi Intensif Indonesia (KATI) berharap buku ini dapat bermanfaat bukan hanya untuk proses pengajaran dokter anestesiologi, tetapi juga untuk semua pihak yang menggunakannya.

Prof. Dr. dr. Nancy Margarita Rehatta, Sp.An, KNA, KMN

PARA KONTRIBUTOR

A. Husni Tanra
Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan

Achsanuddin Hanafie
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Adhrie Sugiarto
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Agus Baratha Suyasa
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Rumah Sakit Kasih Ibu
Denpasar, Bali

Agustina Br Haloho
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Aida Rosita Tantri
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo

Jakarta, DKI Jakarta
Aino Nindya Auerkari
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Akhmad Yun Jufan
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Akhyar H. Nasution
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Aldy Heriwardito
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Alfan Mahdi Nugroho
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Amir S. Madjid
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Anas Alatas
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Andi Ade Wijaya Ramlan
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Andi M. Takdir Musba
Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Andi Miarta
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Anggara Gilang Dwiputra
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

April Poerwanto Basoeki
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Ardana Tri Arianto
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret
RSUD dr. Moewardi
Surakarta, Jawa Tengah

Ardi Zulfariansyah
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Ari Santri Palinrungi
Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Arie Utariani
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Aries Perdana
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Arif Hari Martono Marsaban
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Aswoco Andyk Asmoro
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Bambang Pujo Semedi
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Bambang Suryono Suwondo
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Bastian Lubis
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Bintang Pramodana
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Bondan Irtani Cahyadi
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Calcarina Fitriani Retno Wisudarti
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Christopher Kapuangan
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Christopher Ryalino
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RS Udayana
Denpasar, Bali

Cindy Elfira Boom
RS Jantung dan Pembuluh Darah Nasional
Harapan Kita
Jakarta, DKI Jakarta

Cut Meliza Zainumi
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Dadik Wahyu Wijaya
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Darto Satoto
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Dedi Fitri Yadi
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Dewi Yulianti Bisri
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Dhany Budipratama
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Diana Christine Lalenoh
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi
RSUP Prof. Dr. R. D. Kandou Manado, Sulawesi
Utara

Dita Aditianingsih
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Djayanti Sari
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Djudjuk Rahmad Basuki
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Doddy Tavianto

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Elizeus Hanindito

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Erwin Pradian

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Ezra Oktaliansah

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Faisal Muchtar

Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Fajar Perdhana

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Fildza Sasri Peddyandhari

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Fredi Heru Irwanto

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Gezy Weita Giwangkencana

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Haizah Nurdin

Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Hamzah

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Hari Hendriarto Satoto

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Hasanul Arifin

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
Medan, Sumatra Utara

Heri Dwi Purnomo

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret
RSUD dr. Moewardi
Surakarta, Jawa Tengah

Hermanus Jacobus Lalenoh

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi
RSUP Prof. Dr. R. D. Kandou Manado, Sulawesi
Utara

Heru Dwi Jatmiko

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Hisbullah

Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif,
dan Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran
Universitas Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

I Gusti Ngurah Mahaalit Aribawa

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RS Udayana
Denpasar, Bali

I Ketut Wibawa Nada

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

I Made Adi Parmana

RS Jantung dan Pembuluh Darah Nasional Harapan
Kita
Jakarta, DKI Jakarta

I Made Agus Kresna Sucandra

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

I Putu Agus Surya Panji

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

I Putu Pramana Suarjaya

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

Ibnu Umar

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Ike Sri Redjeki

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Indriasari

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Indro Mulyono

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Isngadi

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Iwan Abdul Rachman

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Iwan Fuadi

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Jefferson K. Hidayat

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Juni Kurniawaty

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Lucky Andriyanto

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

H. M. Ruswan Dahlan

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Made Wiryana

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

Marilaeta Cindryani

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

Mayang Indah Lestari

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Mohammad Sofyan Harahap

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Muhammad Dwi Satriyanto

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif RS
Eka Hospital
Pekanbaru, Riau

Muhammad Ramli Ahmad

Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Mujahidin

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Syiah Kuala
RSUD Zainoel Abidin
Banda Aceh, Aceh

Nancy Margarita Rehatta

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Navy Lolong Wulung

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RS Persahabatan
Jakarta, DKI Jakarta

Nurita Dian Kestriani Saragih Sitio

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Osmond Muftilov Pison

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Philia Setiawan

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Pryambodho

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Purwoko

Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret
RSUD dr. Moewardi
Surakarta, Jawa Tengah

R Besthadi Sukmono
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Rahendra
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Ratna Farida Soenarto
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Reza Widiyanto Sujud
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Ristiawan Muji Laksono
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Riyadh Firdaus
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Rizal Zainal
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Rommy F. Nadeak
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Rose Mafiana
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Ruddi Hartono
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Rudi Kurniadi Kadarsah
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Rudy Vitraludyono
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Rudyanto Sedono
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Ruli Herman Sitanggang
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Satrio Adi Wicaksono
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Septian Adi Permana
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret
RSUD dr. Moewardi
Surakarta, Jawa Tengah

Sidharta Kusuma Manggala
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Siti Chasnak Saleh
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga
RSUD Dr. Soetomo
Surabaya, Jawa Timur

Susilo Chandra
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo
Jakarta, DKI Jakarta

Syafri K. Arif
Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Syafuruddin Gaus
Departemen Anestesiologi, Perawatan Intensif, dan
Manajemen Nyeri Fakultas Kedokteran Universitas
Hasanuddin
RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo
Makassar, Sulawesi Selatan

Tasrif Hamdi
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Tatag Istanto
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Taufik Eko Nugroho
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Taufiq Agus Siswagama
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya
RSUD Dr. Saiful Anwar
Malang, Jawa Timur

Tinni Trihartini Maskoen
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran
RSUP Dr. Hasan Sadikin
Bandung, Jawa Barat

Tjokorda Gde Agung Senapathi
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Udayana
RSUP Sanglah
Denpasar, Bali

Widya Istanto Nurcahyo
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro
RSUP Dr. Kariadi
Semarang, Jawa Tengah

Yunita Widyastuti
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Yusmein Uyun
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan
Keperawatan Universitas Gadjah Mada
RSUP Dr. Sardjito
Yogyakarta, DI Yogyakarta

Yusni Puspita
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

Yutu Solihat
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sumatra Utara
RSUP H. Adam Malik
Medan, Sumatra Utara

Zafrullah Khany Jasa
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Syiah Kuala
RSUD Zainoel Abidin
Banda Aceh, Aceh

Zulkifli
Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif
Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya
RSUP Dr. Mohammad Hoesin
Palembang, Sumatra Selatan

DigitalPublishing/KG-2/SC

DAFTAR ISI

Kata Pengantar Ketua PP Perdatin	v
Kata Pengantar Ketua Tim Editor	vi
Para Kontributor	vii
BAGIAN 1: SEJARAH ANESTESIOLOGI	1
BAB 1 SEJARAH ANESTESI	2
<i>Ratna Farida Soenarto, M. Ruswan Dachlan</i>	
BAGIAN 2: ANESTESIOLOGI DASAR	7
BAB 2 ANATOMI SISTEM PERNAPASAN	8
<i>Indro Mulyono, Navy Lolong Wulung</i>	
BAB 3 FISILOGI SISTEM PERNAPASAN	18
<i>Indro Mulyono, Navy Lolong Wulung</i>	
BAB 4 ANATOMI JANTUNG DAN PEMBULUH DARAH	27
<i>Mayang Indah Lestari, Philia Setiawan</i>	
BAB 5 FISILOGI JANTUNG DAN PEMBULUH DARAH	36
<i>Siti Chasnak Saleh, Philia Setiawan</i>	
BAB 6 ANATOMI SISTEM SARAF	53
<i>Mayang Indah Lestari, Andi M. Takdir Musba</i>	
BAB 7 FISILOGI SISTEM SARAF PUSAT DAN PERIFER	77
<i>Siti Chasnak Saleh, Andi M. Takdir Musba</i>	
BAB 8 ANATOMI SISTEM METABOLISME DAN EKSKRESI	91
<i>Muhammad Ramli Ahmad, Mujahidin</i>	
BAB 9 FISILOGI SISTEM METABOLISME DAN EKSKRESI	101
<i>Muhammad Ramli Ahmad, Mujahidin</i>	
BAB 10 PENGELOLAAN JALAN NAPAS DEWASA	120
<i>Adhrie Sugiarto</i>	
BAB 11 PENGELOLAAN JALAN NAPAS SULIT	129
<i>Adhrie Sugiarto</i>	
BAB 12 PENGELOLAAN JALAN NAPAS NEONATUS, BAYI, DAN ANAK	140
<i>Andi Ade Wijaya Ramlan</i>	
BAB 13 FARMAKOLOGI OBAT ANESTESI INTRAVENA	154
<i>Hasanul Arifin, Cut Meliza Zainumi</i>	

BAB 14	FARMAKOLOGI ANALGETIK <i>Heri Dwi Purnomo, Aida Rosita Tantri</i>	165
BAB 15	FARMAKOLOGI OBAT ANESTESI INHALASI <i>Doddy Tavianto, Gezy Weita Giwangkencana</i>	180
BAB 16	FARMAKOLOGI OBAT ANESTETIK LOKAL <i>Widya Istanto Nurcahyo, Raden Besthadi Sukmono</i>	188
BAB 17	FARMAKOLOGI OBAT PELUMPUH OTOT <i>Aswoko Andyk Asmoro, Rudy Vitraluldyono</i>	193
BAB 18	FARMAKOLOGI OBAT AJUVAN ANESTESI <i>Mohammad Sofyan Harahap, Tatag Istanto</i>	201
BAGIAN 3: PRINSIP KEDOKTERAN PERIOPERATIF		215
BAB 19	PUASA PRABEDAH <i>Haizah Nurdin, Syafruddin Gaus</i>	216
BAB 20	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN KOMORBID SISTEM PERNAPASAN <i>Djudjuk Rahmad Basuki, Taufiq Agus Siswagama</i>	219
BAB 21	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN KOMORBID SISTEM KARDIOVASKULAR <i>Widya Istanto Nurcahyo, Bondan Irtani Cahyadi</i>	229
BAB 22	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN KOMORBID GANGGUAN HATI <i>Hamzah</i>	241
BAB 23	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN KOMORBID GANGGUAN GINJAL <i>Rudi Kurniadi Kadarsah, Iwan Abdul Rachman</i>	247
BAB 24	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN KOMORBID GANGGUAN SISTEM ENDOKRIN <i>Hisbullah Amin, Faisal Muchtar</i>	258
BAB 25	ANESTESI PADA STROKE AKUT <i>Yunita Widyastuti, Akhmad Yun Jufan</i>	271
BAB 26	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN OBESITAS <i>Hamzah</i>	279
BAB 27	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN INTOLERANSI OPIOID <i>Aida Rosita Tantri</i>	283
BAB 28	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN SINDROM MARFAN <i>Reza Widiyanto Sujud, Indriasari</i>	288
BAB 29	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN MYASTHENIA GRAVIS <i>Bambang Pujo Semedi</i>	292
BAB 30	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN HIPERTERMI MALIGNA <i>Ratna Farida Soenarto, Andi Ade Wijaya Ramlan</i>	295
BAB 31	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN FEOKROMOSITOMA <i>Djayanti Sari, Calcarina Fitriani Retno Wisudarti</i>	302
BAB 32	ANESTESI PADA PENYAKIT JANTUNG BAWAAN SIANOTIK <i>Cindy Elfira Boom, I Made Adi Parmana</i>	309
BAB 33	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN PENYAKIT JANTUNG BAWAAN ASIANOTIK <i>Heri Dwi Jatmiko, Tatag Istanto</i>	317
BAB 34	ANESTESI PADA PASIEN DENGAN THALASEMIA DAN GANGGUAN PEMBEKUAN LAINNYA <i>Diana Christine Lalenoh, Hermanus Jacobus Lalenoh</i>	324
BAB 35	PEMANTAUAN DALAM ANESTESI <i>Ezra Oktaliansah, Ardi Zulfariansyah</i>	329
BAB 36	POST-ANESTHESIA CARE <i>Yunita Widyastuti, Juni Kurniawaty</i>	343

BAGIAN 4: CAIRAN, ELEKTROLIT, DAN ASAM BASA	359
BAB 37 TERAPI CAIRAN	360
<i>Amir Sjarifuddin Madjid, Sidharta Kusuma Manggala</i>	
BAB 38 GANGGUAN KESEIMBANGAN ELEKTROLIT	370
<i>Zulkifli, Fredi Heru Irwanto</i>	
BAB 39 KESEIMBANGAN ASAM BASA	379
<i>Zulkifli, Agustina Haloho</i>	
BAGIAN 5: ANESTESI UMUM	389
BAB 40 ANESTESI UMUM	390
<i>I Putu Agus Surya Panji, Marilaeta Cindryani</i>	
BAB 41 ANESTESI BALANS	397
<i>Iwan Fuadi, Dedi Fitri Yadi</i>	
BAB 42 MESIN ANESTESI	405
<i>Aldy Heriwardito</i>	
BAB 43 KOMPLIKASI ANESTESI UMUM	415
<i>Ruli Herman Sitanggang, Osmond Muftilov</i>	
BAGIAN 6: ANESTESI REGIONAL	425
BAB 44 BLOK NEURAKSIAL	426
<i>Aida Rosita Tantri, Raden Besthadi Sukmono</i>	
BAB 45 BLOK PERIFER DASAR	444
<i>Darto Satoto, Aida Rosita Tantri</i>	
BAB 46 BLOK TRUNKAL	466
<i>Pryambodho, Rahendra</i>	
BAGIAN 7: ANESTESI BERDASARKAN TIPE PEMBEDAHAN	477
BAB 47 ANESTESI PADA PASIEN OSA	478
<i>Purwoko, Septian Adi Permana</i>	
BAB 48 ANESTESI PADA BEDAH TELINGA	491
<i>Purwoko, Septian Adi Permana</i>	
BAB 49 ANESTESI PADA BEDAH JALAN NAPAS ATAS	502
<i>Purwoko, Ardana Tri Nugroho</i>	
BAB 50 ANESTESI PADA BEDAH TONSIL	509
<i>Purwoko, Heri Dwi Purnomo</i>	
BAB 51 ANESTESI PADA BEDAH ORTOPEDI	517
<i>Rizal Zainal, Mayang Indah Lestari</i>	
BAB 52 ANESTESI PADA BEDAH LAPARASKOPI	525
<i>Muhammad Ramli Ahmad, Haizah Nurdin</i>	
BAB 53 ANESTESI PADA BEDAH MATA	534
<i>Susilo Chandra, Rahendra</i>	
BAB 54 ANESTESI PADA BEDAH UROLOGI	542
<i>I Putu Pramana Suarjaya, I Gusti Ngurah Mahaalit Arimbawa</i>	
BAB 55 ANESTESI PADA BEDAH RAWAT JALAN	563
<i>Arif Hari Martono Marsaban, I Gusti Ngurah Mahaalit Arimbawa</i>	
BAB 56 ANESTESI DI LUAR KAMAR BEDAH	572
<i>M. Ruswan Dahlan, Anggara G. Dwiputra</i>	
BAB 57 ANESTESI PADA BEDAH ONKOLOGI	580
<i>Zafrullah Khany Jasa</i>	

BAB 58	ANESTESI PADA BEDAH PLASTIK <i>Akhyar H. Nasution, Tasrif Hamdi</i>	588
BAGIAN 8: ANESTESI PADA BEDAH OBSTETRI		595
BAB 59	ANATOMI DAN FISILOGI PADA KEHAMILAN <i>Bambang Suryono Suwondo, Yusmein Uyun</i>	596
BAB 60	ANALGESIA PADA PERSALINAN <i>Alfan Mahdi Nugroho</i>	608
BAB 61	ANESTESI BEDAH OBSTETRI <i>Achsanuddin Hanafie, Dadik Wahyu Wijaya</i>	616
BAB 61	MANAJEMEN ANESTESI PADA PASIEN OBSTETRI RISIKO TINGGI <i>Isngadi, Ruddi Hartono</i>	621
BAB 63	ANESTESI PADA KEHAMILAN UNTUK PEMBEDAHAN NON-OBSTETRI <i>Bambang Suryono Suwondo, Yusmein Uyun</i>	634
BAGIAN 9: ANESTESI PADA BEDAH SARAF		641
BAB 64	FISILOGI ALIRAN DARAH OTAK DAN TEKANAN INTRAKRANIAL <i>Rose Mafiana</i>	642
BAB 65	METABOLISME SEREBRAL <i>Rose Mafiana</i>	647
BAB 66	PEMANTAUAN NEUROFISILOGI DAN NEUROFARMAKOLOGI <i>Riyadh Firdaus</i>	651
BAB 67	PENGARUH OBAT ANESTESI PADA SISTEM SARAF PUSAT (SSP) <i>Riyadh Firdaus</i>	658
BAB 68	TEKNIK PENGENDALIAN TEKANAN INTRAKRANIAL <i>Dewi Yulianti Bisri, Diana Christine Lalenoh</i>	662
BAB 69	ANESTESI PADA BEDAH SARAF <i>Dewi Yulianti Bisri, Agus Baratha Suyasa</i>	669
BAB 70	CEDERA TULANG SERVIKAL <i>Dewi Yulianti Bisri, Muhammad Dwi Satriyanto</i>	680
BAGIAN 10: ANESTESI PADA BEDAH KARDIOTORASIK		689
BAB 71	SIRKULASI SISTEMIK DAN PULMONAL <i>Aries Perdana, Fildza Sasri Peddyandhari</i>	690
BAB 72	GANGGUAN VENTILASI DAN PERFUSI SELAMA BEDAH KARDIOTORAKS <i>Hari Hendriarto Satoto, Taufik Eko Nugroho</i>	703
BAB 73	ANESTESI PADA GANGGUAN SISTEM JANTUNG, PARU, DAN MEDIASTINUM <i>Heru Dwi Jatmiko, Satrio Adi Wicaksono</i>	708
BAB 74	VENTILASI SATU PARU <i>Anas Alatas</i>	724
BAB 75	PEMANTAUAN HEMODINAMIK INVASIF PADA BEDAH KARDIOTORASIK <i>Jefferson K. Hidayat, Fildza Sasri Peddyandhari</i>	734
BAB 76	ANESTESI PADA BEDAH JANTUNG DEWASA <i>I Ketut Wibawa Nada</i>	744
BAB 77	ANESTESI PADA BEDAH JANTUNG ANAK <i>Philia Setiawan, Fajar Perdhana</i>	755
BAB 78	ANESTESI PADA BEDAH TORAKS <i>Yutu Solihat, Akhyar H. Nasution</i>	774

BAGIAN 11: ANESTESI PEDIATRI	781
BAB 79 ANATOMI DAN FISILOGI PASIEN PEDIATRI <i>Elizeus Hanindito</i>	782
BAB 80 FARMAKOLOGI OBAT ANESTESI PADA PASIEN PEDIATRI <i>Elizeus Hanindito</i>	785
BAB 81 TERAPI CAIRAN DAN ELEKTROLIT PADA PASIEN PEDIATRI <i>Arie Utariani, Bambang Pujo Semedi</i>	789
BAB 82 MANAJEMEN DAN PEMANTAUAN INTRAOPERATIF PADA PASIEN PEDIATRI <i>Arie Utariani, Lucky Andriyanto</i>	801
BAB 83 KOMPLIKASI ANESTESI PEDIATRI <i>Djayanti Sari, Juni Kurniawaty</i>	806
BAB 84 ANESTESI REGIONAL PADA PASIEN PEDIATRI <i>Rahendra</i>	820
BAB 85 TATA LAKSANA NYERI PASCABEDAH PADA PASIEN PEDIATRI <i>Andi Ade Wijaya Ramlan</i>	842
BAGIAN 12: ANESTESI GERIATRI	853
BAB 86 PERUBAHAN ANATOMI DAN FISILOGI PADA GERIATRI <i>Nancy Margarita Rehatta, Djayanti Sari</i>	854
BAB 87 PERUBAHAN FARMAKOLOGI PADA PASIEN GERIATRI <i>Nancy Margarita Rehatta, Susilo Chandra</i>	865
BAB 88 TATA LAKSANA ANESTESI PADA PASIEN GERIATRI <i>Susilo Chandra, Bintang Pramodana</i>	871
BAB 89 TATA LAKSANA NYERI PASCABEDAH PADA PASIEN GERIATRI <i>Susilo Chandra, Bintang Pramodana</i>	878
BAGIAN 13: TERAPI INTENSIF	881
BAB 90 ILMU DASAR TERAPI INTENSIF <i>Sidharta Kusuma Manggala</i>	882
BAB 91 PENCEGAHAN KOMPLIKASI PERAWATAN INTENSIF <i>Erwin Pradian, Nurita Dian Kestriani Saragih Sitio</i>	892
BAB 92 AKSES VASKULAR <i>Haizah Nurdin, Syafri K. Arif</i>	901
BAB 93 VENTILASI MEKANIK <i>Faisal Mukhtar, Hisbullah</i>	915
BAB 94 SISTEM PENOPANG ORGAN <i>Zulkifli, Mayang Indah Lestari</i>	932
BAB 95 PEMERIKSAAN PENUNJANG PADA PASIEN SAKIT KRITIS <i>Achsanuddin Hanafie, Rommy F. Nadeak</i>	941
BAB 96 GANGGUAN RESPIRASI <i>Ike Sri Redjeki</i>	953
BAB 97 GANGGUAN HEMODINAMIK <i>Dita Aditianingsih, Sidharta Kusuma Manggala</i>	964
BAB 98 GANGGUAN SISTEM SARAF PUSAT <i>Achsanuddin Hanafie, Bastian Lubis</i>	987
BAB 99 GANGGUAN FUNGSI ORGAN LAINNYA <i>Syafri K. Arif, Ari Santri Palinrungi</i>	996
BAB 100 INFLAMASI DAN INFEKSI SISTEM ORGAN <i>Zulkifli, Andi Miarta</i>	1007

BAB 101	TERAPI NUTRISI DAN METABOLISME <i>Tinni Trihartini Maskoen, Dani Budi Pratama</i>	1022
BAB 102	ANTIBIOTIK <i>Yusni Puspita, Ibnu Umar</i>	1030
BAB 103	TERAPI PALIATIF <i>Rudyanto Sedono, Adhrie Sugiarto</i>	1038
BAB 104	END OF LIFE CARE <i>Made Wiryana, I Made Agus Kresna Sucandra</i>	1043
BAGIAN 14: TRAUMATOLOGI DAN ANESTESI BEDAH DARURAT		1051
BAB 105	PENILAIAN AWAL, RESUSITASI, DAN STABILISASI <i>Mayang Indah Lestari, Andi Miarta</i>	1052
BAB 106	CARDIOPULMONARY RESUSCITATION <i>April Poerwanto Basoeki, Aida Rosita Tantri</i>	1062
BAB 107	PERAWATAN PASCAHENTI JANTUNG <i>April Poerwanto Basoeki, Mayang Indah Lestari</i>	1069
BAB 108	SEDASI DAN ANALGESIA DI RUANG EMERGENSI <i>Yusni Puspita, Aida Rosita Tantri</i>	1084
BAB 109	ANESTESI BEDAH DARURAT <i>Riyadh Firdaus</i>	1090
BAB 110	KEDOKTERAN EMERGENSI <i>Aino Nindya Auerkari</i>	1104
BAGIAN 15: PENGELOLAAN NYERI		1113
BAB 111	DEFINISI, MEKANISME, DAN KLASIFIKASI NYERI <i>A. Husni Tanra, Andi M. Takdir Musba</i>	1114
BAB 112	TATA LAKSANA NYERI PASCABEDAH <i>Tjokorda Gde Agung Senapathi, Christopher Ryalino</i>	1124
BAB 113	TATA LAKSANA NYERI KRONIS <i>Andi M. Takdir Musba, Ristiawan M. Laksono</i>	1134
BAB 114	TATA LAKSANA NYERI PALIATIF <i>Nancy Margarita Rehatta, Syafruddin Gaus</i>	1147
BAGIAN 16: TRANSPLANTASI ORGAN		1157
BAB 115	ANESTESI PADA TRANSPLANTASI GINJAL <i>Dita Aditianingsih</i>	1158
BAB 116	ANESTESI PADA TRANSPLANTASI HATI <i>Christopher Kapuangan</i>	1171
BAGIAN 17: KOMUNIKASI DAN PROFESIONALISME		1179
BAB 117	KOMUNIKASI DAN PROFESIONALISME <i>Arif H. M. Marsaban, Tjokorda Gde Agung Senapathi, dan Christopher Ryalino</i>	1180

BAB 6

ANATOMI SISTEM SARAF

Mayang Indah Lestari, Andi M. Takdir Musba

PENDAHULUAN

Sistem saraf tubuh manusia merupakan produk evolusi yang paling kompleks.¹ Kesadaran, pengalaman, pemikiran, dan perilaku dibentuk oleh aktivitas miliaran neuron dan glia. Jaringan saraf terdiri dari sel-sel saraf dan neuroglia.² Sel saraf (neuron) terdiri dari badan sel, dendrit (proyeksi badan sel), dan akson (yang menghantarkan impuls dari dan ke badan sel).² Neuroglia merupakan jaringan non-eksitasi yang mendukung neuron secara struktural dan metabolik.²

Sistem saraf terdiri dari dua divisi utama. Secara struktural sistem saraf dibedakan menjadi sistem saraf pusat dan sistem saraf perifer, sedangkan secara fungsional dibedakan menjadi sistem saraf somatik dan sistem saraf otonom.² Sistem saraf pusat terdiri dari otak dan medula spinalis.² Sistem saraf perifer terdiri dari semua jaringan di luar saraf pusat, meliputi nervus kranialis dan spinalis, sistem saraf otonom dan indra khusus (rasa, penghidu, penglihatan, pendengaran, dan keseimbangan).¹ Indra khusus tidak dibahas dalam tulisan ini. Pada sistem saraf pusat, kumpulan badan sel saraf membentuk *grey matter* (substansia grisea) dan jaringan saraf interkoneksi membentuk *white matter* (substansia alba).² Pada sistem saraf perifer, kumpulan badan sel saraf membentuk ganglion dan jaringan (akson) interkoneksi membentuk nervus perifer.² Selain sistem saraf pusat dan perifer, dalam bab ini juga akan dibahas mengenai selaput pelindung otak dan cairan serebrospinal secara singkat.

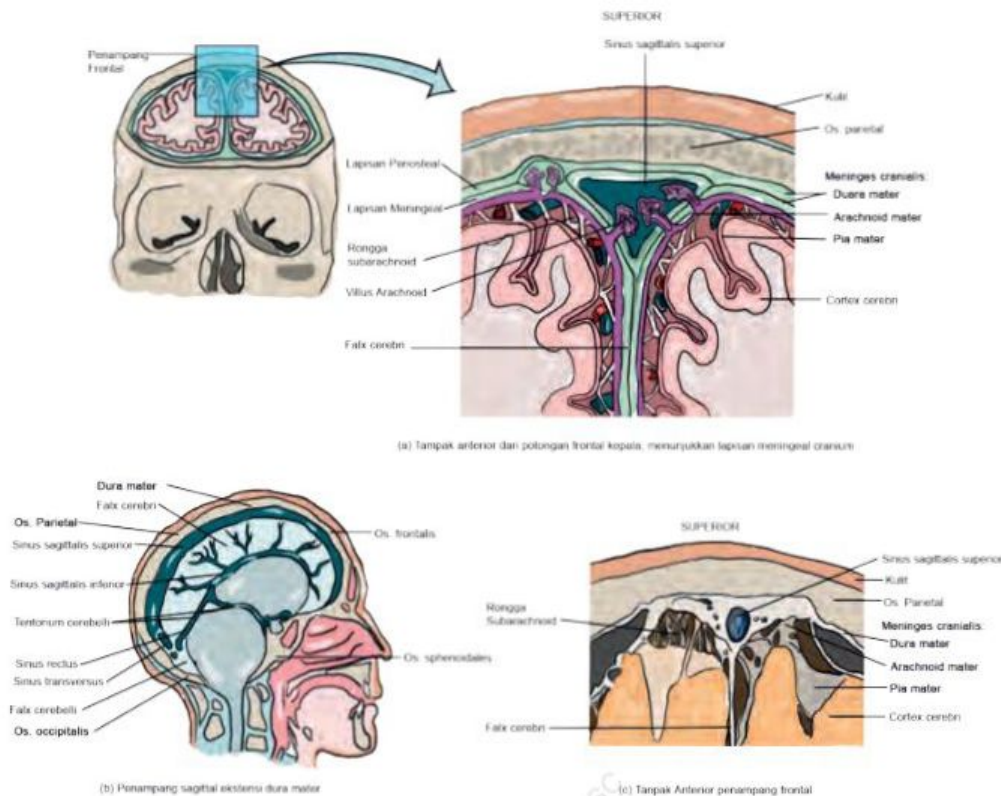
SELAPUT PELINDUNG OTAK

Otak diproteksi oleh selaput pelindung (*cranial meninges*), selain oleh kranium. Selaput pelindung tersebut terdiri dari duramater (lapisan terluar), araknoid mater (lapisan tengah), dan piamater (lapisan terdalam).³ Selaput pelindung otak berlanjut menjadi selaput pelindung spinal dan mempunyai struktur yang sama kecuali duramater kranial yang mempunyai dua lapisan, sementara duramater spinal satu lapisan. Dua lapisan duramater disebut *periosteal layer* (lapisan eksternal) dan *meningeal layer* (lapisan internal). Di otak, ruang epidural juga tidak ditemukan. Pemanjangan duramater memisahkan beberapa bagian otak³, yaitu:

1. Falks serebri: lapisan yang memisahkan dua hemisfer serebrum
2. Falks serebelli: lapisan yang memisahkan dua hemisfer serebelum
3. Tentorium serebelli: lapisan yang memisahkan serebrum dan serebelum

CAIRAN SEREBROSPINAL (CSS)

CSS merupakan cairan jernih transparan yang sebagian besar terdiri dari air yang melindungi otak dan medula spinalis dari cedera kimia dan fisik. CSS



Gambar 6.1 Lapisan pelindung otak

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, *et al.*¹

membawa sejumlah oksigen, glukosa, dan zat-zat kimia yang dibutuhkan dari darah ke neuron dan neuroglia.³ CSS terus-menerus bersirkulasi melalui kavitas-kavitas di dalam otak dan medula spinalis serta sekitar otak dan ruang subaraknoid medula spinalis. Volume CSS total 80–150 mL pada orang dewasa.³ CSS mengandung sedikit glukosa protein, asam laktat, urea, kation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^+), anion (Cl^- dan HCO_3^-), serta leukosit.³

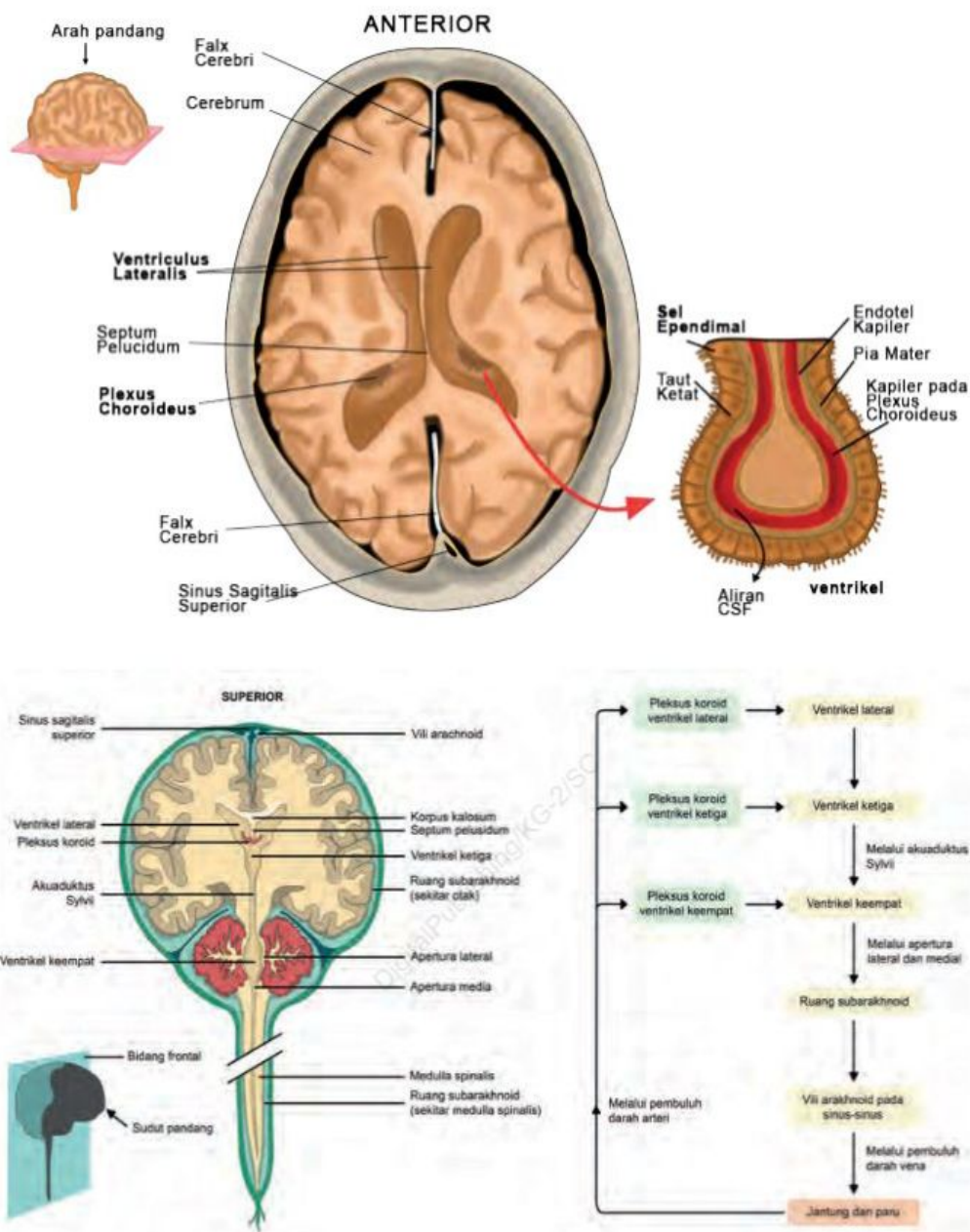
CSS mengisi rongga dalam otak atau yang disebut juga ventrikel. Terdapat satu ventrikel lateral pada tiap hemisfer serebrum (anggap sebagai ventrikel 1 dan 2). Pada bagian anterior, ventrikel lateral dipisahkan oleh membran tipis yang dinamakan *septum pellucidum*. Ventrikel ke-3 merupakan rongga yang sempit seperti celah, pada garis tengah, di atas hipotalamus, dan terletak di antara bagian kanan dan kiri dari talamus. Ventrikel ke-4 terletak di antara batang otak dan serebelum. CSS memiliki tiga fungsi dasar yang membantu memelihara homeostasis, yaitu:³

1. Proteksi mekanis: CSS berperan sebagai media peredam kejut yang melindungi jaringan otak dan medula spinalis yang rapuh dari gaya

yang dapat menyebabkannya cedera saat bertabrakan dengan dinding tulang rongga kranium maupun kanalis vertebralis. CSS juga membuat otak mengapung sehingga menjadi “melayang” dalam rongga kranium.

2. Proteksi kimia: CSS berperan dalam membuat ruangan kimiawi yang optimal yang membantu dalam penghantaran sinyal neuron yang akurat. Sedikit saja perubahan komposisi ion pada CSS dalam otak dapat mengganggu produksi potensial aksi maupun potensial pascasinaps.
3. Sirkulasi: CSS merupakan media dari pertukaran nutrisi dan produk sisa antara darah dengan jaringan saraf sekitarnya.

Sebagian besar CSS diproduksi oleh pleksus koroideus, suatu jaringan kapiler darah pada dinding ventrikel³. Kapiler dari pleksus koroideus dilapisi oleh sel endotelial yang diikat oleh *tight junction*. Substansi yang terpilih (sebagian besar adalah air) dari plasma darah, kemudian akan difiltrasi oleh kapiler dan disekresikan oleh sel endotelial untuk menghasilkan CSS. Kapasitas sekresinya



Gambar 6.2 Jalur Sirkulasi Cairan Serebrospinal (CSS)

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al.¹

memungkinkan untuk produksi CSS yang terus-menerus serta transportasi metabolit dari jaringan saraf ke dalam darah. Karena adanya *tight junction* di antara sel-sel ependimal, material yang masuk dalam CSS melalui kapiler koroid tidak akan bocor keluar dari sel-sel tersebut, tetapi zat-zat tersebut akan dipandu melewati sel-sel ependimal. *Blood-cerebrospinal barrier* tersebut akan mengatur substansi apa yang dapat masuk dalam CSS, sehingga menjadi pelindung otak dan medula spinalis dari

masuknya zat yang berpotensi bahaya yang terdapat dalam darah. Struktur pelindung tersebut berbeda dengan *blood-brain barrier* yang dibentuk oleh *tight junction* dari sel-sel endotel kapiler otak.

CSS yang dibentuk di pleksus koroideus pada kedua ventrikel lateral kemudian akan mengalir ke ventrikel ke-3 melalui gerbang sempit berbentuk oval, yang dinamakan foramina interventrikular. Volume CSS kemudian bertambah oleh produk yang dihasilkan dari atap ventrikel ke-3. CSS kemudian mengalir

melewati akuaduktus otak tengah (akuaduktus serebral) yang melewati otak tengah sampai ke ventrikel ke-4. Pleksus koroideus pada ventrikel ke-4 akan menambah volume CSS. CSS kemudian masuk ke ruang subaraknoid melalui tiga gerbang pada atap ventrikel ke-4, yaitu 1 apertura media dan 2 apertura lateral yang terdapat pada sisi kanan dan kiri. CSS kemudian bersirkulasi dalam kanalis sentralis pada medula spinalis dan di dalam rongga subaraknoid di sekitar permukaan otak dan medula spinalis.

CSS kemudian direabsorpsi secara bertahap ke dalam darah melalui vili arachnoid terutama pada sinus sagitalis superior. Pada umumnya, CSS diserap kembali dengan kecepatan yang serupa dengan produksinya, yaitu sekitar 20 mL/jam (480 mL/hari)³. Oleh karena kecepatan yang sama antara pembentukan dan reabsorpsi, maka tekanan CSS relatif konstan begitu pula dengan volumenya.

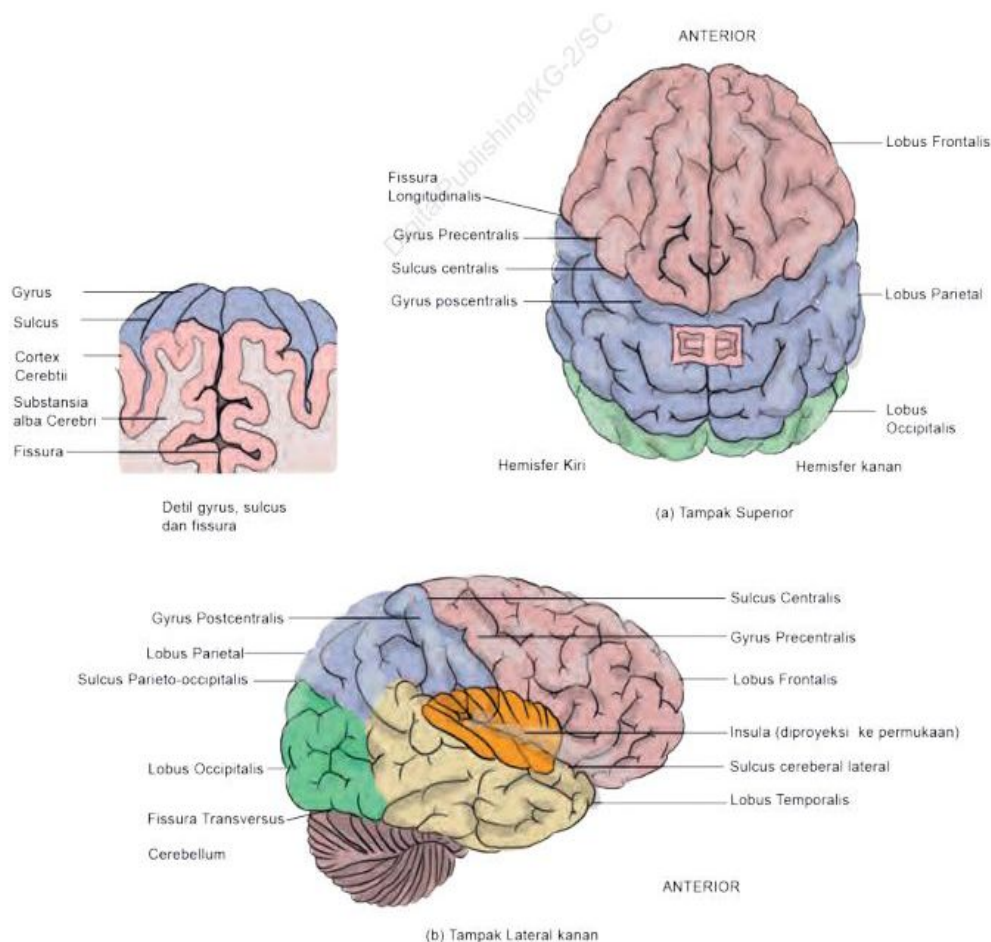
SISTEM SARAF PUSAT

SEREBRUM

Serebrum merupakan pusat kecerdasan, di mana berkaitan dengan kemampuan untuk membaca, menulis, berbicara, berhitung, menggubah musik, mengingat, merencanakan, dan juga berimajinasi.³ Serebrum dibentuk oleh korteks serebral luar, area interna substansia alba dan nuklei substansia grisea di dalamnya.³

KORTEKS SEREBRI

Korteks serebri merupakan regio substansia grisea yang membentuk sisi luar dari serebrum. Sekalipun tebalnya hanya 2–4 mm (0,08–0,16 inci), korteks serebri memiliki miliaran neuron yang tersusun pada



Gambar 6.3 Serebri

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, *et al.*¹

lapisan tertentu.³ Saat perkembangan embrionik, saat ukuran otak meningkat dengan cepat, substansia grisea pada korteks membesar lebih cepat daripada substansia alba di dalamnya. Kemudian, regio kortikal akan berputar dan menggulung dengan sendirinya sehingga membentuk lipatan yang disebut girus. Parit terdalam antara lipatan disebut juga fissura, sementara yang dangkal disebut sulkus. Fissura yang paling dalam adalah fissura longitudinal yang memisahkan serebri menjadi bagian kanan dan kiri atau hemisfer serebrum. Di dalam fissura longitudinal terdapat falks serebri. Hemisfer serebri terhubung secara internal oleh struktur korpus kalosum, suatu pita substansia grisea yang memiliki akson yang memanjang di kedua hemisfer.

LOBUS SEREBRI

Setiap hemisfer serebrum terbagi atas beberapa lobus. Lobus-lobus tersebut dinamakan sesuai dengan nama tulang yang melindunginya, seperti frontal, parietal, temporal, dan oksipital³. Sulkus sentralis memisahkan lobus frontal dari lobus parietal. Girus mayor, yaitu girus presentral, yang terletak tepat di depan sulkus sentralis, memiliki area motorik primer korteks serebri. Girus mayor lainnya, yaitu girus postsentralis, yang terletak tepat di belakang sulkus sentralis, memiliki area somatosensorik korteks serebri. Sulkus serebralis lateral (fissura) memisahkan lobus frontal dengan lobus temporal. Sulkus parieto-oksipital memisahkan lobus parietal dengan lobus oksipital. Bagian kelima serebrum, yaitu insula, tidak terlihat dari permukaan otak karena terletak di dalam sulkus serebralis lateral, di bawah lobus parietal, frontal, dan temporal.

CEREBRAL WHITE MATTER

Substansia alba serebrum (*cerebral white matter*) tersusun atas akson termielinisasi dalam tiga tipe jaras, yaitu:³

1. Jaras asosiasi yang memiliki akson yang dapat menghantarkan impuls saraf antar girus pada hemisfer yang sama.
2. Jaras kommisura yang memiliki akson yang menghantarkan impuls dari girus pada salah satu hemisfer serebrum ke girus bersangkutan pada hemisfer serebrum yang lain. Tiga kelompok utama dari jaras kommisura adalah korpus kalosum (ikatan serat otak paling besar, tersusun atas 300 juta serat), kommisura anterior, dan kommisura posterior.

3. Jaras proyeksi yang memiliki akson yang menghantarkan impuls saraf dari serebrum ke bagian bawah sistem saraf pusat (talamus, batang otak, atau medula spinalis) atau sebaliknya. Contohnya adalah kapsula interna, suatu pita tebal substansia alba yang memiliki akson ascenden maupun descenden.

NUKLEI BASAL

Di dalam setiap hemisfer serebrum terdapat tiga nuklei (massa substansia grisea), yang disebut juga nuklei basal (dahulu disebut ganglia basalis)³. Dua nuklei basal terletak pada sisi kanan dan kiri, tepat di samping talamus. Nuklei tersebut adalah globus pallidus, yang dekat dengan talamus, serta putamen, yang berada dekat dengan korteks serebri. Kedua struktur tersebut membentuk nukleus lentiform. Nukleus ke-3, yaitu nukleus kaudatus, yang memiliki struktur menyerupai kepala yang terhubung dengan struktur yang menyerupai ekor, dengan bentuk “tubuh” yang menyerupai bentuk simbol koma. Nuklei lentiform dan kaudatus membentuk korpus striatum. Struktur sekitar yang fungsinya berhubungan dengan nuklei basal adalah substansia nigra mesensefalon dan nuklei subtalamus diensefalon. Akson-akson dari substansia nigra berakhir di nukleus kaudatus dan putamen. Nuklei subtalamus saling berhubungan globus pallidus Klaustrum, suatu lembaran tipis substansia grisea, berada di samping putamen. Struktur tersebut dianggap sebagai subdivisi dari nuklei basal. Fungsi klaustrum pada manusia sendiri masih belum jelas, namun diduga berhubungan dengan perhatian visual.

Nuklei basal menerima input dari korteks serebri dan memberikan *output* ke bagian motorik korteks lewat kelompok nuklei medial dan ventral dari talamus. Fungsi utama nuklei basal adalah membantu mengatur inisiasi dan terminasi gerakan.³ Aktivitas neuron dalam putamen dapat mendahului maupun mengantisipasi gerakan tubuh, di mana aktivitas neuron pada nukleus kaudatus berhubungan dengan gerakan mata. Globus pallidus membantu dalam mengatur tonus otot yang dibutuhkan untuk gerakan tubuh tertentu.³ Nuklei basal juga berfungsi mengendalikan kontraksi bawah sadar dari otot skeletal (contoh: gerakan ayunan tangan yang otomatis terjadi saat berjalan maupun menutup mulut saat tertawa mendengarkan lelucon).

Sebagai tambahan terhadap pengaruhnya pada fungsi motorik, nuklei basal juga memiliki peran lain, seperti membantu inisiasi dan terminasi proses kognitif

tertentu, memperhatikan, memori, merencanakan, serta mengatur sistem limbik untuk regulasi terhadap emosi.³ Gangguan seperti adanya penyakit Parkinson, gangguan obsesif kompulsif, skizofrenia, dan ansietas kronis diduga dapat menyebabkan disfungsi sirkuit antara nuklei basal dan sistem limbik.

SISTEM LIMBIK

Struktur yang mengelilingi bagian atas batang otak dan korpus kallosum merupakan struktur berbentuk cincin pada sisi dalam serebrum dan lantai diensefalon, yang membentuk sistem limbik. Komponen utama sistem limbik adalah:³

1. Lobus limbik yang merupakan sisi dari korteks serebri pada bagian medial setiap hemisfer, mencakup girus cingulus (di atas korpus kallosum) dan girus parahippokampus, Hippokampus merupakan bagian dari girus parahippokampus yang meluas ke dasar ventrikel ke-3.
2. Girus dentatus berada di antara girus hippocampus dan parahippokampus.
3. Amigdala yang tersusun atas beberapa kelompok neuron yang terletak di dekat struktur “ekor” nukleus kaudatus.
4. Nuklei septalis yang terletak di dalam area septal yang dibentuk oleh regio di bawah korpus kallosum dan girus paraterminalis.
5. Badan mammillari hipotalamus yang tampak seperti dua buah massa bulat, berada dekat dengan garis tengah pedunkulus serebralis.
6. Dua macam nuklei talamus, nukleus anterior, dan medial, yang menjadi bagian sirkuit limbik.
7. Bulbus olfaktorius yang berbentuk gepeng pada jaras olfaktorius dan terletak pada lempeng kribriiformis.
8. Fornix, stria terminalis dan medullaris, *medial forebrain bundle*, dan traktus mammillotalamus yang saling berhubungan lewat ikatan akson termielinisasi.

Sistem limbik terkadang disebut juga “bagian otak yang emosional” karena perannya dalam pengaturan emosi, yang berkaitan dengan nyeri, kesenangan, ketenangan, afektif, dan kemarahan. Sistem tersebut juga terlibat dalam fungsi penghidu dan memori. Sistem limbik dan sebagian serebrum juga berperan terhadap fungsi memori seseorang. Salah satu bagian dari sistem limbik, yaitu hippocampus, ternyata memiliki fitur unik dibandingkan sistem saraf pusat

lainnya, yaitu kemampuan untuk bermitosis, sehingga bagian tersebut mampu untuk menghasilkan neuron-neuron baru saat seseorang mempelajari hal baru, bahkan pada usia lanjut.

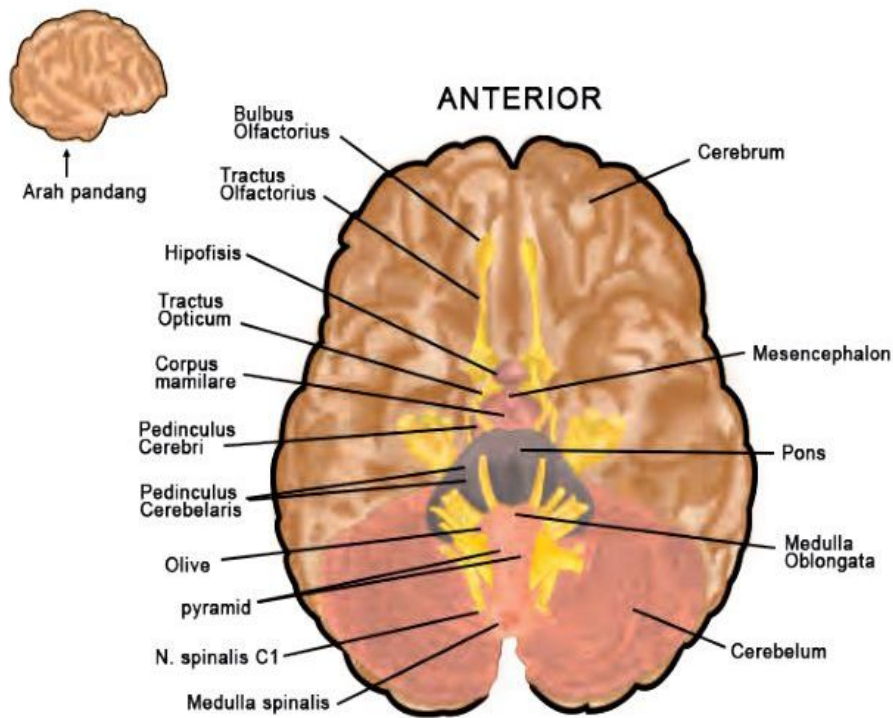
BATANG OTAK

MEDULA OBLONGATA

Medula oblongata merupakan bagian inferior batang otak dan superior dari medula spinalis. Medula oblongata bermula di foramen magnum sampai ke batas inferior pons dan berukuran sekitar 3 cm (1,2 inci)³. Substantia alba-nya terdiri dari semua jaras sensorik ascenden dan motorik descenden yang berjalan ke medula spinalis dan bagian otak yang lain. Beberapa dari substantia alba tersebut membentuk tonjolan di bagian anterior yang disebut *pyramid* (piramida) yaitu oleh jaras (traktus) kortikospinal besar yang lewat dari serebrum menuju medula spinalis. Traktus kortikospinal mengatur pergerakan sadar dari ekstremitas dan tubuh. Superior dari persambungan medula oblongata dengan medula spinalis, 90% akson dari piramida kiri menyeberang ke sisi kanan begitu juga sebaliknya.³ Persilangan ini disebut *decussatio pyramidalis* dan menjelaskan mengapa sisi otak yang satu mengatur pergerakan sadar sisi tubuh yang lain.

Medula oblongata juga terdiri dari beberapa nuklei, kumpulan badan sel saraf di dalam susunan saraf pusat. Beberapa nuklei mengatur fungsi-fungsi vital tubuh seperti aktivitas vital meliputi pengaturan pusat kardiovaskular dan ritme medula. Pusat kardiovaskular meregulasi kecepatan dan kekuatan denyut jantung dan diameter pembuluh darah. Pusat pernapasan menyesuaikan ritme dasar pernapasan. Selain itu, nuklei tersebut juga mengatur refleks-refleks muntah, bersin, batuk, dan cegukan.

Di sisi lateral dari piramidalis terdapat penonjolan berbentuk oval yang disebut *olive* di mana di dalamnya terdapat *nukleus inferior olivary* yang menerima sinyal dari korteks serebri, *red nucleus* dari otak tengah, dan medula spinalis. Neuron-neuron dari *nukleus inferior olivary* memperluas aksonnya ke serebelum, di mana mereka meregulasi aktivitas neuron-neuron serebelum sehingga dapat memberikan instruksi pada serebelum untuk melakukan penyesuaian aktivitas otot saat seseorang mempelajari kemampuan motorik baru.



Gambar 6.4 Medula oblongata dan bagian otak yang lain
Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al.¹

Nuklei yang berhubungan dengan sensasi sentuhan, tekanan, getaran, dan propioseptik terletak di bagian posterior dari medula. Nuklei tersebut adalah nukleus gracilis kanan dan kiri, serta nukleus kuneatus. Akson sensori *ascendens* dari fasikulus gracilis dan kuneatus, merupakan dua jalur pada kolumna posterior medula spinalis, yang kemudian membentuk sinaps pada nuklei tersebut. Neuron pascasinaps akan meneruskan informasi sensorik ke talamus pada sisi otak yang berlawanan. Akson yang naik ke talamus berada dalam pita substansia alba yang disebut juga lemniskus medial, yang memanjang melewati medula, pons, dan otak tengah. Jalur pada kolumna posterior dan akson pada lemniskus medial dikenal juga dengan nama jalur kolumna posterior lemniskus medial.

Medula juga memiliki nuklei yang merupakan komponen dari jalur sensorik pengecap, pendengaran, dan keseimbangan. Nukleus gustatorius medula merupakan bagian dari jalur pengecap dari lidah ke otak, yang menerima input pengecap dari papil yang berada pada lidah. Nuklei koklearis medula merupakan bagian dari jalur auditorius pada telinga dalam dan otak, yang menerima input auditorius dari koklea pada telinga tengah. Nuklei vestibularis medula dan pons merupakan komponen jalur keseimbangan, yang menerima informasi sensorik yang berhubungan

dengan keseimbangan dari propioseptik (reseptor yang memberikan informasi mengenai posisi tubuh dan pergerakannya) pada komponen vestibularis telinga dalam.

Medula memiliki nuklei yang berhubungan dengan lima pasang nervus kranialis: nervus vestibulokoklearis (N. VIII), nervus glossofarineus (N. IX), nervus vagus (N. X), nervus aksesorius (N. XI-bagian kranial), dan nervus hipoglosus (N. XII).³ Pada nervus vestibulokoklearis, beberapa nuklei pada medula menerima *input* sensorik dan memberikan *output* motorik pada koklea yang terdapat pada telinga dalam lewat nervus vestibulokoklearis. Nervus ini meneruskan impuls yang berhubungan dengan pendengaran. Pada nervus glossofarineus, nuklei pada medula yang meneruskan impuls sensorik dan motorik yang berhubungan dengan pengecap, refleks menelan, dan salivasi lewat nervus glossofarineal. Pada nervus vagus, nuklei pada medula menerima impuls sensorik serta memberikan impuls motorik ke faring dan laring dan beberapa visera torakal serta abdominal lewat nervus vagus. Pada nervus aksesorius, serat-serat tersebut sebenarnya merupakan bagian dari nervus vagus (N. X). Nuklei pada medula merupakan asal dari impuls saraf yang mengendalikan refleks menelan lewat

nervus vagus (bagian kranial dari nervus aksesorius). Pada nervus hipoglossus (N. XII), nuklei pada medula merupakan asal impuls saraf yang mengendalikan gerakan lidah saat berbicara dan menelan lewat nervus hipoglossus.

PONS

Pons terletak tepat di atas medula dan anterior dari serebelum, dengan panjang lebih kurang 2,5 cm (1 inci)³. Serupa dengan medula, pons memiliki nuklei dan juga traktus. Seperti arti nama latinnya (pons = jembatan) pons merupakan jembatan yang menghubungkan bagian-bagian otak satu dengan lainnya. Hubungan ini didukung oleh kumpulan akson. Beberapa akson pada pons menghubungkan bagian kanan dan kiri dari serebelum. Sisanya merupakan bagian dari traktus sensorik ascendens dan descendens dari traktus motorik.

Pons memiliki dua komponen struktural utama, yaitu bagian ventral dan dorsal. Bagian ventral pons membentuk stasiun hantaran sinaps besar yang memiliki nuklei pontinus. Traktus substansia alba masuk dan keluar dari nuklei tersebut, di mana masing-masing menghubungkan antara korteks hemisfer serebri ke hemisfer serebelum pada sisi yang berlawanan. Sirkuit kompleks tersebut berperan dalam koordinasi dan memaksimalkan efisiensi dari output motorik volunter dari seluruh tubuh. Bagian dorsal pons serupa dengan bagian lain dari batang otak, medula, dan otak tengah yang mengandung traktus-*tractus ascenden* dan *descenden* bersama-sama dengan nuklei nervus kranialis. Selain itu, pada pons juga terdapat *pontine respiratory group* yang bersama-sama dengan *medullary respiratory center* mengatur pernapasan. Pons juga mengandung nuklei yang berhubungan dengan empat pasang nervus kranialis, yaitu nervus trigeminus (V), nervus abducens (VI), nervus fasialis (VII), dan nervus vestibulokoklear (VIII). Pada nervus trigeminus, nuklei ini menerima impuls sensori untuk sensasi somatik yang berasal dari kepala dan wajah dan memberikan impuls motorik yang mengatur proses mengunyah melalui nervus trigeminus. Pada nervus abducens, nuklei ini memberikan impuls motorik yang mengatur pergerakan bola mata melalui nervus abducens. Pada nervus fasialis, nuklei ini menerima impuls sensorik untuk pengecap dan memberikan impuls motorik yang mengatur sekresi saliva dan air mata serta kontraksi otot-otot pada ekspresi wajah melalui nervus fasialis. Pada nervus vestibulokoklear,

nuklei ini menerima impuls sensorik yang berasal dari dan memberikan impuls motorik untuk apparatus vestibular melalui nervus vestibulokoklearis. Nervus-nervus ini menyampaikan impuls yang berkaitan dengan keseimbangan dan ekuilibrium.

OTAK TENGAH

Otak tengah atau mesensefalon berawal dari pons sampai diensefalon dengan panjang sekitar 2,5 cm (1 inci)³. Akuaduktusnya (*cerebral aqueduct*) melewati otak tengah dan menghubungkan ventrikel ketiga di atas dan ventrikel keempat di bawah. Sama halnya dengan medula dan pons, otak tengah mengandung nuklei dan traktus. Di bagian anterior medula terdapat *cerebral peduncles* yang terdiri dari akson-akson traktus kortikospinal, kortikobulbar dan kortikopontin yang menghantarkan impuls saraf dari area motorik korteks serebral menuju ke medula spinalis, medula, dan pons. Di bagian posteriornya terdapat *tectum* yang terdiri dari *superior colliculi* yang merupakan pusat refleks aktivitas visual tertentu (seperti melacak benda yang bergerak dan memindai benda yang diam) dan *inferior colliculi* yang merupakan bagian dari jaras auditori dan pusat refleks dari *startle reflex*, yaitu refleks kepala, mata, tubuh yang bergerak tiba-tiba ketika terkejut. Selain itu, otak tengah juga mengandung beberapa nuklei lain seperti *substantia nigra* dan *red nuclei*. Pada *substantia nigra* terdapat neuron-neuron yang melepaskan dopamin dan membantu aktivitas otot bawah sadar. Jika neuron-neuron tersebut tidak berfungsi, maka dapat terjadi penyakit Parkinson. Pada *red nuclei* terdapat akson-akson yang membantu mengatur pergerakan otot. Pada otak tengah juga terdapat nuklei-nuklei lain yang memiliki hubungan dengan dua pasang nervus kranialis, yaitu *oculomotor* (nervus III), yang mengatur pergerakan bola mata dan otot polos yang meregulasi konstiksi pupil serta perubahan bentuk lensa, dan *troklearis* (nervus IV) yang mengatur pergerakan bola mata.

FORMASIO RETIKULARIS

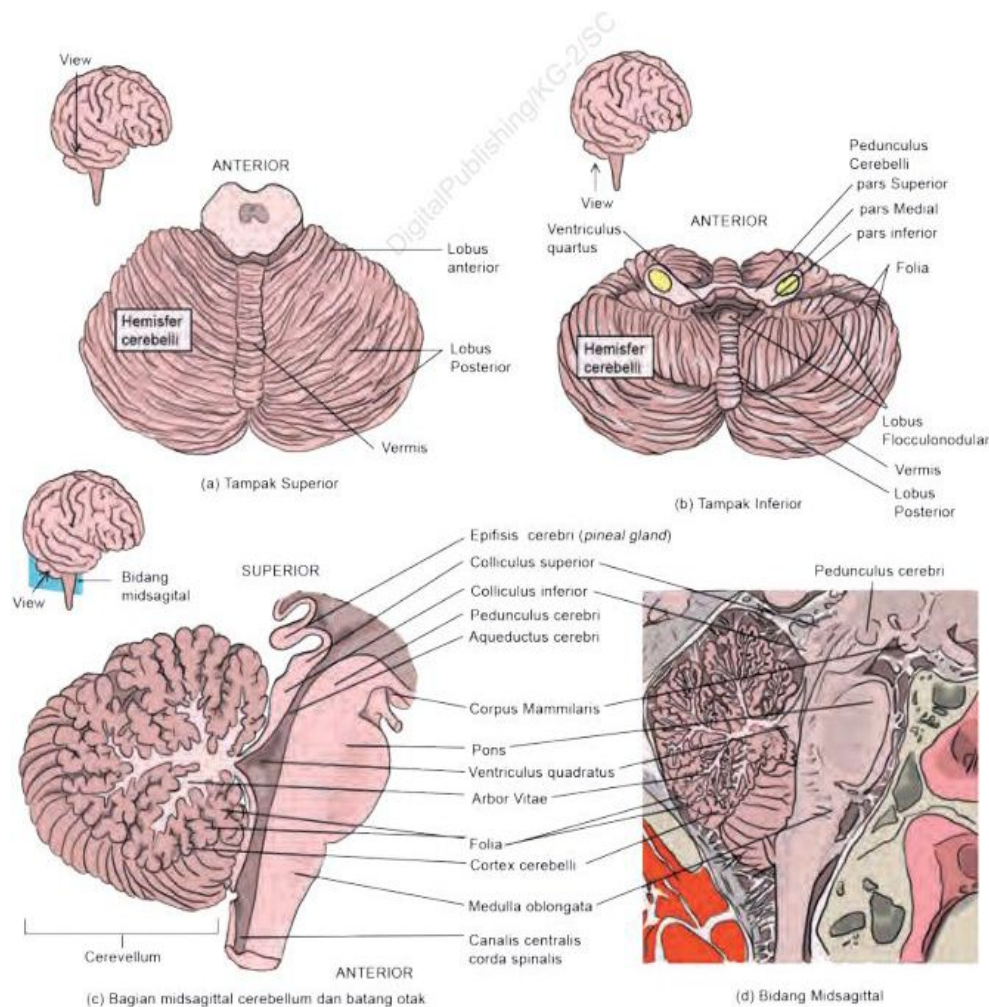
Formasio retikularis merupakan daerah di mana *substantia alba* dan *grisea* membuat susunan seperti jaring. Daerah ini bermula dari medula spinalis superior, sepanjang batang otak, dan sampai ke bagian inferior dari diensefalon. Pada daerah ini terdapat neuron-neuron yang memiliki fungsi sensorik (*ascenden*) dan motorik (*descenden*). Pada

bagian ascenden terdapat *reticular activating system* (RAS) yang paling penting dalam mengatur kesadaran. Inaktivasi dari RAS akan menyebabkan tidur dan jika terjadi kerusakan akan mengakibatkan koma. Selain itu, RAS juga mempunyai fungsi regulasi tonus otot, laju jantung, tekanan darah, dan laju napas.

SEREBELUM

Serebelum, yang terletak di bagian inferior dan posterior kavitas kranialis, memiliki permukaan yang sangat terlipat sehingga memiliki area yang luas dan memungkinkan memuat banyak neuron (sama halnya dengan seberum). Serebelum memiliki massa sepersepuluh dari otak dan mengandung hampir setengah neuron di otak. Dilihat dari superior dan inferior, bentuknya seperti kupu-kupu. Di bagian tengah terdapat *vermis* dan di bagian lateral (sayap atau lobus) terdapat hemisfer serebular. Masing-masing hemisfer terdiri dari lobus-lobus: lobus anterior dan

posterior mengatur gerakan otot bawah sadar; lobus flokulonodular (di inferior) mengatur ekuilibrium dan keseimbangan. Pada lapisan permukaan terdapat korteks serebular yang mengandung *folia* (*substantia grisea*). Di bagian dalamnya terdapat *arbor vitae* (*substantia alba*) yang menyerupai cabang-cabang pohon. Di bagian yang lebih dalam terdapat *nucleus serebelli* (*substantia grisea*) yang memunculkan akson yang membawa impuls ke pusat-pusat otak lainnya. Tiga pasang pedunculus serebelli menempelkan serebelum ke batang otak: superior, tengah, dan inferior. Pedunculus serebelli superior mengandung akson-akson dari serebelum ke *red nuclei* pada otak tengah dan beberapa nuklei talamus. Pedunculus serebelli tengah membawa impuls untuk pergerakan sadar dari nuklei pontin dan korteks serebri ke serebelum. Pedunculus serebelli inferior terdiri dari akson traktus spinoserebellar (yang membawa impuls sensorik dari proprioseptor di *trunk* dan



Gambar 6.5 Serebelum

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al.¹

ekstremitas), akson dari apparatus vestibular telinga bagian dalam dan nuklei vestibular *medulla* dan pons (yang membawa impuls sensorik dari proprioseptordi kepala), akson dari nukleus *olivary inferior* (yang mengatur aktivitas neuron-neuron serebelum), akson yang menuju ke nuklei vestibularis medula dan pons, dan akson yang menuju ke formasio retikularis.

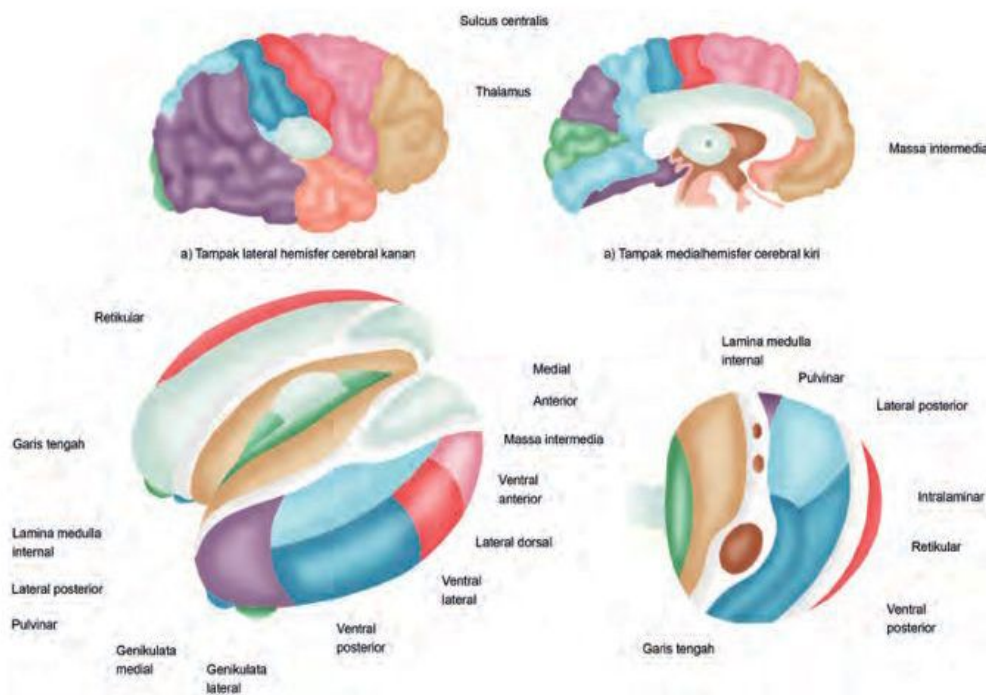
Fungsi utama serebelum ialah untuk mengevaluasi seberapa baik pergerakan yang diinisiasi oleh area motorik serebri. Serebelum akan mendeteksi jika gerakan tersebut tidak dilaksanakan dengan benar kemudian mengirim sinyal umpan balik ke area motorik tersebut melalui talamus. Sinyal ini akan membantu memperbaiki kesalahan, menghaluskan gerakan, dan mengoordinasikan urutan kompleks kontraksi otot lurik. Selain itu, serebelum juga mengatur postur dan keseimbangan sehingga memungkinkan dilakukannya gerakan otot yang terampil seperti menangkap bola, menari, dan berbicara. Serebelum juga memiliki fungsi nonmotorik seperti kognisi (memperoleh pengetahuan) dan pemrosesan bahasa dengan adanya koneksi timbal balik antara serebelum dan area asosiasi korteks serebri. Serebelum juga dapat berperan dalam memproses informasi sensorik.

DIENSEFALON

Diensefalon, yang membentuk inti pusat jaringan otak persis superior dari otak tengah, hampir seluruhnya dikelilingi oleh hemisfer serebri. Diensefalon mengandung banyak inti yang terlibat dalam berbagai pemrosesan sensorik dan motorik antara pusat otak yang lebih tinggi dan lebih rendah. Diensefalon membentang dari batang otak ke serebri dan mengelilingi ventrikel ketiga. Diensefalon meliputi talamus, hipotalamus, dan epitalamus.

TALAMUS

Talamus, yang merupakan 80% dari diensefalon, memiliki panjang sekitar 3 cm (1,2 inci)³. Talamus adalah stasiun *relay* utama untuk sebagian besar impuls sensorik sebelum mencapai area sensorik utama korteks serebri. Selain itu, talamus berkontribusi pada fungsi motorik dengan cara mentransmisikan informasi dari serebelum dan nuklei basal ke area motorik korteks serebri. Talamus juga menyampai impuls saraf di antara berbagai area serebri dan memainkan peran dalam pemeliharaan kesadaran.



Gambar 6.6 Talamus

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, *et al.*¹

Berdasarkan posisi dan fungsinya, masing-masing sisi talamus terdapat tujuh kelompok nuklei utama (nukleus anterior, medial, lateral, ventral, intralaminar, garis tengah, dan retikular)³:

1. Nukleus anterior, menerima input dari hipotalamus dan mengirimkan output ke sistem limbik, berfungsi dalam emosi dan memori.
2. Nuklei medial, menerima input dari sistem limbik dan nuklei basal dan mengirimkan output ke korteks serebri, berfungsi dalam emosi, pembelajaran, memori, dan kognisi (proses berpikir dan mengetahui).
3. Nuklei lateral, menerima input dari sistem limbik, *superior colliculi*, dan korteks serebri serta mengirimkan output ke korteks serebri, berfungsi dalam ekspresi emosi. Selain itu, nukleus di bagian ini juga membantu mengintegrasikan informasi sensorik.
4. Nuklei ventral anterior, menerima input dari nuklei basal dan mengirimkan output ke area motorik korteks serebri, berfungsi dalam kontrol gerakan. Nuklei ventral lateral, menerima input dari serebelum dan nuklei basal dan mengirimkan output ke area motorik korteks serebri. Nuklei ini juga berfungsi dalam mengatur gerakan. Nuklei ventral posterior, menyampaikan impuls untuk sensasi somatik seperti sentuhan, tekanan, getaran, gatal, geli, suhu, nyeri, dan propriosepsi dari wajah dan tubuh ke korteks serebri. Nukleus genikulata lateral menyampaikan impuls visual ke area visual primer korteks serebri dan nukleus

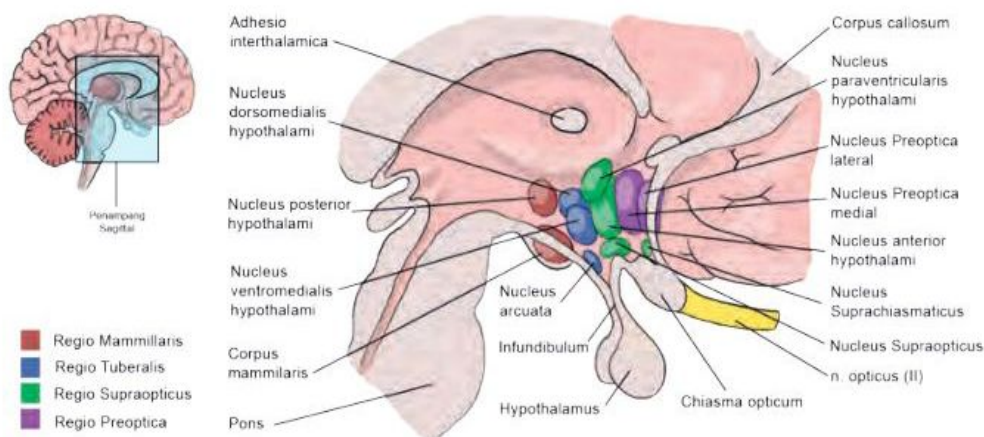
genikulata medial menyampaikan impuls pendengaran dari telinga ke area pendengaran utama korteks serebri.

5. Nuklei intralaminar terletak di dalam lamina medula interna dan membuat koneksi dengan *formasio retikularis*, serebelum, nuklei basal, dan area luas dari korteks serebri. Nuklei ini berfungsi dalam gairah (aktivasi korteks serebri dari formasio retikularis batang otak) dan integrasi informasi sensorik dan motorik.
6. Nukleus garis tengah, yang membentuk pita tipis yang berdekatan dengan ventrikel ketiga, diduga berfungsi dalam memori dan penciuman.
7. Nukleus reticular, yang mengelilingi aspek lateral talamus di sebelah kapsula interna, berfungsi memonitor, menyaring, dan mengintegrasikan kegiatan nuklei talamus lainnya.

HIPOTALAMUS

Hipotalamus merupakan bagian dari diensefalon yang terletak di bawah talamus. Struktur tersebut dibentuk atas banyak nuklei yang tersusun di empat area utama, yaitu³:

1. Regio mamilaris yang meluas ke mesensefalon, merupakan bagian paling posterior dari hipotalamus. Pada regio tersebut terdapat badan mamilaris dan nuklei hipotalamus posterior. Badan mamilaris merupakan dua penonjolan bulat yang berperan sebagai stasiun penghantar refleks yang berkaitan dengan sensasi penghidu.



Gambar 6.7 Hipotalamus

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al.¹

2. Regio tuberal merupakan bagian paling luas dari hipotalamus, di mana terdapat nukleus dorsomedial, ventromedial, dan arkuata, serta infundibulum, yang menghubungkan kelenjar pituitari dengan hipotalamus. Eminentia mediana merupakan penonjolan bulat yang mengelilingi infundibulum.
3. Regio supraoptik yang berada di atas kiasma optikus dan memiliki nukleus paraventricular, supraoptik, hipotalamus anterior, dan suprakiasmatis. Akson dari nuklei paraventricular dan supraoptik membentuk jaras hipotalamohipofiseal yang memanjang melewati infundibulum ke lobus posterior pituitari.
4. Regio preoptik, anterior dari supraoptik juga dianggap sebagai bagian dari hipotalamus karena ikut membantu hipotalamus dalam mengatur aktivitas otonom tertentu. Regio preoptik memiliki nuklei medial dan lateral.

Hipotalamus mengatur banyak aktivitas tubuh dan merupakan salah satu dari regulator utama homeostasis. Impuls sensorik yang berhubungan dengan sensasi somatis dan viseral akan sampai ke hipotalamus, begitu juga dengan penglihatan, pengecap, dan penghidu. Reseptor lain dalam hipotalamus sendiri akan terus memonitor tekanan osmotik, level glukosa darah, konsentrasi hormon tertentu, dan temperatur darah. Hipotalamus juga memiliki beberapa hubungan penting dengan kelenjar pituitari dan menghasilkan berbagai hormon. Beberapa fungsi terkait dengan nuklei hipotalamus tertentu, tetapi lainnya tidak jelas lokasinya. Fungsi penting dari hipotalamus mencakup.³

1. Kontrol terhadap sistem saraf otonom
Hipotalamus mengontrol dan mengintegrasikan aktivitas sistem saraf otonom, yang mengatur kontraksi otot polos dan otot jantung, serta sekresi berbagai kelenjar. Akson-akson keluar dari hipotalamus ke nuklei parasimpatis dan simpatis dari batang otak dan medula spinalis. Hipotalamus sendiri merupakan regulator utama dari aktivitas viseral, mencakup regulasi denyut jantung, pergerakan makanan di traktus gastrointestinal, dan kontraksi kandung kemih.
2. Produksi hormon
Hipotalamus memproduksi beberapa hormon dan memiliki dua bentuk hubungan dengan kelenjar pituitari, suatu kelenjar endokrin yang terletak inferior dari hipotalamus. Pertama, hormon hipotalamus, yang dikenal juga dengan hormon pelepas dan penghambat, akan keluar ke kapiler

pada eminentia mediana. Aliran darah kemudian akan membawa hormon tersebut ke lobus anterior pituitari, di mana akan terjadi stimulasi maupun penghambatan sekresi dari hormon pituitari anterior. Kedua, akson-akson yang keluar dari nuklei paraventricular dan supraoptik, melewati infundibulum, sampai ke lobus posterior pituitari. Badan sel dari neuron-neuron tersebut akan membuat salah satu dari dua hormon (oksitosin atau hormon antidiuretik). Akson-aksonnya akan membawa hormon tersebut ke bagian posterior pituitari, di mana mereka akan dilepaskan.

3. Regulasi pola emosional dan kebiasaan
Bersama dengan sistem limbik, hipotalamus berperan dalam ekspresi kemarahan, agresi, nyeri, dan rasa senang, serta gairah seksual.
4. Regulasi makan dan minum
Hipotalamus mengatur asupan makanan, di mana terdapat pusat makan, yang menginisiasi keinginan untuk makan, serta pusat kepuasan, yang mencetuskan sensasi kenyang dan ingin menghentikan makan. Hipotalamus juga mengatur pusat haus.
5. Kontrol suhu tubuh
Hipotalamus berfungsi sebagai termostat tubuh, di mana akan mendeteksi suhu tubuh dan akan dijaga pada temperatur tertentu.
6. Regulasi ritme sirkadian
Nukleus suprakiasmatis hipotalamus berfungsi sebagai jam biologis internal tubuh yang mengatur ritme sirkadian, suatu pola aktivitas biologis (contoh: aktivitas tidur dan bangun) yang terjadi dalam jadwal sirkadian (24 jam). Input visual yang diterima nukleus suprakiasmatis akan menyinkronkan neuron pada nukleus tersebut dengan siklus terang-gelap yang berhubungan dengan siang dan malam.

EPITALAMUS

Epitalamus merupakan daerah kecil pada superior dan posterior talamus, yang tersusun atas kelenjar pineal dan nuklei habenular. Kelenjar pineal berukuran sebesar kacang dan menonjol dari posterior garis tengah ventrikel ke-3. Kelenjar pineal merupakan bagian dari sistem endokrin karena dapat menyekresi hormon melatonin.³ Melatonin dapat membantu meregulasi ritme sirkadian, yang diinisiasi oleh nukleus suprakiasmatis hipotalamus. Sebagai respons terhadap input visual dari retina mata, maka nukleus tersebut akan menstimulasi kelenjar pineal (lewat persarafan simpatis) untuk menyekresi hormon melatonin pada pola ritmik, dengan rendahnya

konsentrasi melatonin yang disekresi saat siang hari, dan sebaliknya pada malam hari. Nuklei habenular terlibat dalam fungsi penghidu, umumnya respons emosional pada bau tertentu (contoh: bau parfum pasangan atau masakan orangtua).

CIRCUMVENTRICULAR ORGANS (CVO)

Bagian dari diensefalon yang disebut CVO terletak pada dinding ventrikel ke-3, dan berfungsi memonitor perubahan kimiawi pada darah karena kurangnya *blood-brain barrier*. CVO merupakan bagian dari hipotalamus, kelenjar pineal, pituitari, dan beberapa struktur lain di sekitarnya. Regio tersebut berfungsi dalam mengatur aktivitas homeostasis endokrin dan sistem saraf, seperti regulasi tekanan darah, keseimbangan cairan, rasa lapar, dan haus. CVO juga diduga sebagai gerbang masuk HIV ke dalam otak, dan menginduksi AIDS, demensia, serta gangguan neurologis lainnya.

MEDULA SPINALIS

Medula spinalis berada di dalam kolumna vertebralis, di dua pertiga atas kanalis vertebralis dan di rostral berlanjut menjadi medula oblongata batang otak¹. Kolumna vertebralis memiliki empat kurvatura: servikal dan lumbal (konkaf di posterior); torakal dan sacral (konveks di posterior)⁴. Kolumna vertebralis memiliki peran dalam transmisi berat badan melalui panggul, perlindungan medula spinalis, poros untuk kepala, dan fasilitasi gerakan⁴. Terdapat 33 tulang vertebra: 7 servikal, 12 torakal, 5 lumbal, 5 sakral, dan 4 koksigeal.

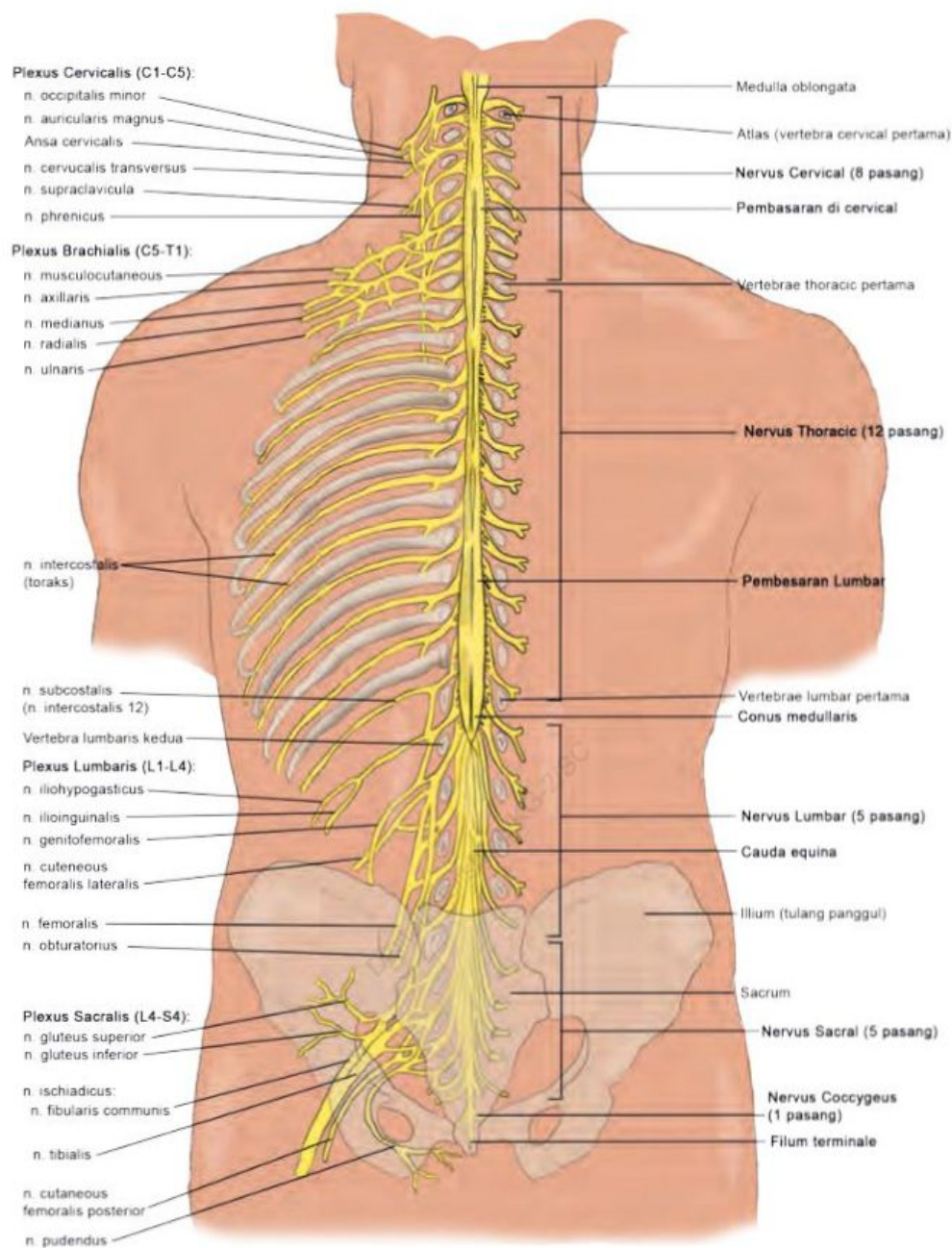
MENINGES

Meninges merupakan jaringan ikat pelindung yang menyelubungi medula spinalis (sama halnya dengan otak). Dari lapisan terluar sampai terdalam meninges terbagi atas duramater, araknoid mater, piamater. Meninges spinalis mengelilingi medula spinalis dan berlanjut dengan meninges kranialis, yang mengelilingi otak. Ketiga meninges menyelubungi nervus spinalis sampai mereka keluar dari kolumna spinalis lewat foramina intervertebralis. Medula spinalis juga dilindungi oleh bantalan lemak dan jaringan ikat yang terletak pada ruang epidural, suatu ruangan di antara duramater dan dinding kanalis vertebralis. Berikut merupakan deskripsi dari setiap lapisan meninges³:

1. Duramater
Duramater merupakan lapisan paling luar, tebal dan dibentuk oleh jaringan ikat padat yang tidak beraturan. Duramater membentuk kantung dari level foramen magnum pada tulang oksipital, di mana berlanjut dengan duramater meningeal pada otak, sampai vertebra sakralis segmen ke-2. Duramater juga berhubungan dengan epineurium, suatu pelindung luar nervus spinalis dan kranialis.
2. Araknoid mater
Duramater merupakan lapisan tipis yang bersifat avaskular dan tersusun atas jaringan longgar kolagen serta serat elastis. Lapisan ini dinamakan seperti itu karena susunannya yang mirip jaring laba-laba. Letaknya di bawah duramater, dan lewat foramen magnum juga berhubungan dengan lapisan yang terdapat pada otak. Di antara lapisan ini dan duramater terdapat rongga subdural yang berisi cairan interstitial.
3. Piamater
Piamater merupakan lapisan *meninges* paling dalam, tipis transparan dan tersusun atas jaringan ikat yang melekat pada permukaan medula spinalis dan otak. Lapisan ini tersusun atas sel skuamous dan kuboid dalam jalinan serat kolagen dan serat elastis. Dalam piamater, terdapat banyak pembuluh darah yang memasok oksigen dan nutrisi terhadap medula spinalis. Perluasan membran berbentuk segi tiga dari piamater menggantungkan medula spinalis pada pertengahan dari lapisan dural. Perluasan ini disebut juga ligamen dentikulatus, yang merupakan penebalan dari piamater. Struktur tersebut juga bersatu dengan araknoid mater dan permukaan dalam dari duramater, di antara akar nervus spinalis anterior dan posterior pada kedua sisinya. Ligamen tersebut juga berfungsi melindungi medula spinalis terhadap dislokasi mendadak yang dapat menyebabkan syok. Di antara araknoid mater dan piamater terdapat rongga subaraknoid yang memiliki cairan serebrospinal yang berfungsi sebagai peredam kejut.

ANATOMI EKSTERNAL

Potongan medula spinalis berbentuk agak oval, di mana sedikit datar pada bagian anterior dan posteriornya. Pada orang dewasa, medula spinalis memanjang dari medula oblongata, di bagian inferior otak, sampai batas superior dari vertebra lumbal ke-2.³ Pada



(a) Tampak belakang corda spinalis dan sebagian dari nervus spinalis

Gambar 6.8 Anatomi eksternal medula spinalis dan nervus spinalisGambar diadaptasi dari Tortora GJ, *et al.*¹

bayi, struktur tersebut memanjang sampai segmen ke-3 atau ke-4 dari vertebra lumbal.³ Saat usia anak, baik medula spinalis dan kolumna vertebralis akan tumbuh lebih panjang daripada pertumbuhan tubuh keseluruhan. Pemanjangan medula spinalis akan berhenti pada usia 4 atau 5 tahun, tetapi pertumbuhan kolumna vertebralis akan tetap berlanjut.³ Oleh karena itu, medula spinalis tidak akan berukuran

lebih panjang daripada kolumna vertebralis. Panjang medula spinalis pada dewasa adalah sekitar 42–45 cm (16–18 inci).³ Diameter maksimalnya adalah sekitar 1,5 cm (0,6 inci) pada regio servikal bawah, dan lebih kecil lagi pada bagian torakal serta ujung inferiornya.³

Saat medula spinalis dilihat secara eksternal, terdapat dua pembesaran mencolok (*enlargement*) yang dapat terlihat.³ Pembesaran superior, disebut

juga pembesaran servikal, memanjang dari vertebra servikal ke-4 (C₄) sampai vertebra torakal ke-1 (T₁).³ Nervus yang menuju maupun yang berasal dari ekstremitas atas tumbuh dari pembesaran servikal ini. Pembesaran inferior, disebut juga pembesaran lumbal, memanjang dari vertebra torakal ke-9 sampai ke-12.³ Nervus yang menuju maupun yang berasal dari ekstremitas bawah tumbuh dari pembesaran tersebut.

Di bawah pembesaran lumbal, medula spinalis berakhir menjadi struktur berbentuk kerucut yang dinamakan konus medullaris, yang berujung di setinggi diskus intervertebralis antara vertebra lumbal ke-1 dan ke-2 (L₁-L₂) pada orang dewasa.³ Struktur yang muncul dari konus medullaris dinamakan juga filum terminale, suatu pemanjangan pia mater ke arah inferior, dan menyatukan araknoid mater serta duramater, dan menetapkan medula spinalis pada koksigeus.

Medula spinalis tampak bersegmen karena dibentuk oleh 31 pasang nervus spinalis yang muncul dari foramina intervertebralis. Setiap pasangannya muncul dari segmen spinal yang bersangkutan. Di dalam medula spinalis tidak ditemukan adanya segmentasi tertentu, tetapi pemberian nama nervus spinalis berkaitan dengan segmen tempat lokasinya masing-masing. Terdapat 8 pasang nervus servikal (C₁-C₈), 12 pasang nervus torakal (T₁-T₁₂), 5 pasang nervus lumbal (L₁-L₅), 5 pasang nervus sakral (S₁-S₅), serta 1 pasang nervus koksigeal.³

Terdapat 2 ikatan akson, disebut juga "akar", yang menghubungkan setiap nervus spinalis ke segmen chorda tertentu oleh ikatan yang lebih kecil yang disebut juga *rootlets*. Akar posterior (dorsal) dan juga *rootlet*-nya memiliki akson sensorik saja, yang dapat menghantarkan impuls saraf dari reseptor sensorik pada kulit, otot, dan organ internal ke sistem saraf pusat. Di setiap akar posterior terdapat pembengkakan yang disebut ganglion akar posterior. Akar anterior (ventral) beserta *rootlet* nya memiliki akson motorik yang menghantarkan impuls dari sistem saraf pusat ke efektor pada otot dan kelenjar.

Saat nervus spinalis bercabang dari medula spinalis, struktur tersebut berjalan di bagian lateral dan keluar dari kanalis vertebralis lewat foramina intervertebralis di antara vertebra yang berdekatan. Tetapi, karena medula spinalis berukuran lebih pendek daripada kolumna vertebralis, nervus yang berasal dari lumbal, sakral, dan koksigeal tidak meninggalkan kolumna vertebralis pada ketinggian yang sama saat struktur tersebut keluar dari *chorda*. Akar dari nervus

spinalis inferior membentuk sudut di sepanjang filum terminale pada kanalis vertebralis dan tampak seperti ikatan rambut, sehingga dinamakan juga kauda ekuina.

ANATOMI INTERNAL

Potongan transversal dari medula spinalis menunjukkan adanya regio substansia alba yang dikelilingi oleh inti dalam dari substansia grisea. Substansia alba medula spinalis tersusun atas ikatan-ikatan akson neuron termielinisasi.³ Dua parit memasuki substansia alba medula spinalis dan membaginya menjadi sisi kanan dan kiri.³ Fissura median anterior merupakan parit lebar pada sisi anterior (ventral) sedangkan sulkus median posterior merupakan parit sempit pada sisi posterior (dorsal).³ Substansia grisea medula spinalis berbentuk seperti huruf "H" atau seperti kupu-kupu, di mana struktur tersebut tersusun atas dendrit dan badan sel neuron, akson-akson tak termielinisasi, dan neuroglia. Komisura abu-abu membentuk jembatan penghubung pada kedua sisi struktur tersebut. Pada pertengahan komisura tersebut, terdapat ruang kecil yang disebut juga kanalis sentralis, yang meluas di sepanjang medula spinalis dan diisi oleh cairan serebrospinal. Pada ujung superiornya, kanalis sentralis berhubungan dengan ventrikel ke-4 pada medula oblongata. Di depan komisura tersebut terdapat komisura putih anterior (ventral), yang menghubungkan substansia alba antara sisi kanan dan kiri medula spinalis.

Pada substansia grisea medula spinalis dan otak, terdapat kumpulan badan sel neuron yang membentuk grup fungsional yang dinamakan nuklei. Nuklei sensorik menerima input dari reseptor lewat neuron sensorik, sedangkan neuron motorik memberikan output ke jaringan efektor lewat neuron motorik. Substansia grisea pada setiap sisi medula spinalis dibagi menjadi beberapa regio yang disebut tanduk. Tanduk abu-abu posterior (dorsal) tersusun atas akson-akson dari neuron sensorik yang datang, serta badan sel dari akson-akson interneuron. Tanduk abu-abu anterior (ventral) tersusun atas nuklei motorik somatis, yang merupakan kumpulan badan sel neuron motorik somatis yang memberikan impuls saraf untuk kontraksi otot skeletal. Di antara tanduk abu-abu anterior dan posterior terdapat tanduk abu-abu lateral, yang hanya terdapat pada segmen

torakal dan lumbal atas dari medula spinalis. Struktur tersebut tersusun atas nuklei motorik otonom, yang merupakan kumpulan badan sel neuron motorik somatis yang mengatur aktivitas otot jantung, otot polos, dan kelenjar.

Substansia alba pada medula spinalis juga terbagi dalam beberapa regio. Tanduk abu-abu anterior dan posterior membagi substansia alba pada tiap sisinya menjadi tiga area luas yang dinamakan kolumna, yaitu anterior (ventral), posterior (dorsal), dan lateral. Setiap kolumna tersusun atas ikatan akson-akson yang memiliki tujuan maupun asal yang sama, serta membawa informasi yang serupa. Ikatan-ikatan tersebut dapat meluas sepanjang medula spinalis, baik ke arah atas maupun bawah, dan struktur ini dinamakan traktus. Traktus sensorik tersusun atas akson-akson yang menghantarkan impuls saraf ke otak. Traktus yang tersusun atas akson-akson yang membawa impuls dari otak dinamakan juga dengan traktus motorik. Kedua struktur tersebut saling berhubungan baik yang terdapat pada medula spinalis maupun yang terdapat pada otak.

SISTEM SARAF PERIFER

SISTEM SARAF SPINALIS

Sistem saraf spinalis merupakan nervus yang menyampaikan informasi dari dan ke sistem saraf pusat untuk mengatur aktivitas, tubuh (*trunk*), dan ekstremitas.¹ Nervus spinalis terdiri dari 31 pasang nervus: 8 nervus servikal, 12 torakal, 5 lumbal, 5 sakral, dan 1 koksigeal.^{1-3,5} Nervus tersebut merupakan campuran dari serabut saraf sensorik dan motorik (dijelaskan pada anatomi eksternal medula spinalis).

SISTEM SARAF KRANIALIS

Saraf kranialis dinamakan demikian karena struktur tersebut menjalar melewati bermacam foramina pada tulang kranium, serta berasal dari otak di dalam rongga kranium. Seperti 31 pasang nervus spinalis, 12 pasang saraf kranialis juga merupakan bagian dari sistem saraf perifer.¹⁻³

Tiga nervus kranialis (I, II, dan VIII) memiliki akson neuron sensorik yang disebut juga nervus sensorik spesialis. Nervus tersebut berbentuk unik pada

struktur kepalanya, dan berkaitan dengan sensasi penghidu, penglihatan, dan pendengaran. Badan sel dari kebanyakan neuron sensorik berada pada ganglia di luar otak.

Lima nervus kranialis (III, IV, VI, XI, dan XII) diklasifikasikan menjadi nervus motorik karena hanya tersusun atas neuron motorik sekalipun sudah keluar dari batang otak. Badan sel neuron motorik berada pada nuklei dalam otak.

Empat nervus kranialis lainnya (V, VII, IX, dan X) merupakan nervus campuran, di mana nervus tersebut memiliki akson neuron sensorik maupun motorik yang masuk dan keluar ke dan dari batang otak.

SISTEM SARAF OTONOM

Sistem saraf otonom, bagian dari sistem saraf yang meregulasi otot jantung, otot polos, dan kelenjar, sering juga disebut sebagai efektor viseral karena biasanya dihubungkan dengan visera (organ internal) tubuh.³ Sistem ini terdiri dari neuron-neuron motorik otonom yang mengatur aktivitas viseral dengan cara mengeksitasi atau menghambat aktivitas yang sedang berlangsung di jaringan efekturnya misalnya perubahan ukuran pupil, perubahan diameter pembuluh darah, penyesuaian laju dan kekuatan detak jantung. Jaringan yang diinervasi oleh sistem saraf otonom sering kali tetap berfungsi sampai batas tertentu meskipun telah terjadi kerusakan pada sarafnya misalnya jantung terus berdenyut saat diambil untuk ditransplantasikan ke orang lain.

Sistem saraf otonom terdiri dari divisi utama: simpatis dan parasimpatis.^{1,3,6} Sebagian besar organ tubuh menerima persarafan dari keduanya (inervasi ganda). Sistem ini juga memiliki divisi ketiga, yaitu sistem saraf enterik yang terdiri dari jutaan neuron pada plexus yang tersebar di hampir seluruh saluran cerna. Sistem ini terdiri dari neuron sensorik (memantau perubahan kimia dalam saluran cerna dan peregangan dindingnya), motorik (mengatur kontraksi otot polos dan sekresi kelenjar saluran cerna), dan interneuron (mengintegrasikan informasi dari neuron sensorik dan memberikan input pada neuron motorik).³ Sistem ini, selain berdiri sendiri, dapat juga diatur oleh divisi sistem saraf otonom yang lain.

Sistem saraf simpatis dan parasimpatis menghantarkan impulsnya melalui dua neuron secara seri: (1) prasinaps atau praganglion yang memiliki badan

Tabel 6.1 Nervus kranialis

Nervus Kranialis	Komponen	Fungsi Utama
Olfaktorius (I)	Sensorik spesial	Penghidu
Optikus (II)	Sensorik spesial	Penglihatan
Okulomotorius (III)	Motorik Somatis Motorik	Pergerakan bola mata dan kelopak mata atas Pengaturan lensa untuk akomodasi dan konstiksi pupil
Troklearis (IV)	Motorik (somatis)	Pergerakan bola mata
Trigeminalis (V)	Campuran Sensorik Motorik (brankialis)	Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu dari kulit kepala, wajah, dan rongga mulut (mencakup gigi dan dua pertiga anterior lidah) Mengunyah dan kontrol otot telinga tengah
Abdusens (VI)	Motorik (somatis)	Pergerakan bola mata
Fasialis (VII)	Campuran Sensorik Motorik (brankialis) Motorik (otonom)	Pengecapan dari dua pertiga anterior lidah; Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu dari kulit pada liang telinga luar Kontrol otot ekspresi wajah dan otot telinga tengah Sekresi air mata dan liur
Vestibulokoklearis (VIII)	Sensorik spesial	Pendengaran dan keseimbangan
Glossofaringeus (IX)	Campuran Sensorik Motorik (brankialis) Motorik (otonom)	Pengecapan dari sepertiga posterior lidah; Propioseptik pada otot mengunyah; Monitor tekanan darah, oksigen, dan karbon dioksida dalam darah; Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu dari kulit pada telinga luar dan faring superior Membantu dalam menelan Sekresi air liur
Vagus (X)	Campuran Sensorik Motorik (brankialis) Motorik (otonom)	Pengecapan dari epiglotis; Propioseptik dari tenggorok dan otot pita suara; Monitor tekanan darah, oksigen, dan karbon dioksida dalam darah; Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu pada kulit telinga luar; Sensasi dari organ toraks dan abdomen Menelan, bersuara, dan batuk Motilitas dan sekresi organ gastrointestinal; Konstiksi traktus respiratorius; Penurunan denyut jantung
Aksesorius (XI)	Motorik (brankialis)	Pergerakan kepala dan pektoralis
Hipoglossus (XII)	Motorik (somatis)	Berbicara, manipulasi makanan, dan menelan

Tabel diadaptasi dari Tortora GJ, *et al.*¹

sel di substansia grisea sistem saraf pusat dan hanya bersinaps dengan neuron kedua; (2) postsinaps atau postganglion yang memiliki badan sel di ganglion otonom di luar sistem saraf pusat². Neurotransmitter antara pre- dan postganglion adalah asetilkolin.² Neurotransmitter antara postganglion dan efektor adalah asetilkolin untuk parasimpatis dan noradrenalin untuk simpatis.²

KOMPONEN ANATOMIS

Neuron Praganglion

Pada saraf simpatis, neuron praganglion memiliki badan sel pada sisi lateral substansia grisea di 12 segmen torakal dan dua segmen pertama lumbal di medula spinalis. Maka dari itu, saraf simpatis juga dikenal dengan sebutan divisi torakolumbal.^{2,3} Badan sel dari neuron praganglion saraf parasimpatis terletak pada nuklei empat nervus kranialis di batang otak (III, VII, IX, dan X), serta di substansia grisea pada segmen sakral ke-2 sampai ke-4 di medula spinalis, sehingga dikenal juga dengan sebutan divisi kraniosakral.^{2,3}

Ganglia Otonom (Simpatis, Parasimpatis)

Terdapat dua kelompok utama dari ganglia otonom, yaitu ganglia simpatis dan ganglia parasimpatis.

1. Ganglia simpatis

Ganglia simpatis merupakan tempat sinaps antara neuron simpatis praganglion dan postganglion. Terdapat 2 tipe utama ganglia simpatis, yaitu ganglia trunkus simpatetikus dan ganglia prevertebralis. Ganglia trunkus simpatetikus terdapat pada baris vertikal dari kedua sisi kolumna vertebralis. Ganglia-ganglia tersebut keluar dari basis kranii ke koksigis. Fungsi utama akson-akson postganglion dari ganglia trunkus simpatetikus adalah menginervasi organ di atas diafragma, seperti kepala, leher, bahu, dan jantung.³

Kelompok kedua dari ganglia simpatis adalah ganglia prevertebral yang terletak di anterior kolumna vertebralis dan dekat dengan arteri abdominalis. Secara umum, akson-akson postganglion dari ganglia prevertebral menginervasi organ di bawah diafragma.

2. Ganglia parasimpatis

Akson praganglion dari saraf parasimpatis bersinaps dengan neuron postganglion di ganglia terminal (intramural).³ Kebanyakan dari ganglia ini terletak dekat atau bahkan di dalam dinding organ viseral.

Neuron Postganglion

Setelah akson praganglion simpatis melewati ganglia trunkus simpatetikus, struktur tersebut kemudian berhubungan dengan neuron postganglion. Suatu serat praganglion simpatis memiliki banyak akson kolateral (cabang) dan dapat bersinaps dengan 20 atau lebih neuron postganglion. Pola ini merupakan suatu contoh divergensi dan ini membantu dalam menjelaskan mengapa banyak respons simpatis akan memengaruhi hampir keseluruhan tubuh secara bersamaan. Setelah keluar dari ganglianya, akson-akson postganglion kemudian akan berakhir pada beberapa efektor viseral.

Akson-akson dari neuron praganglion saraf parasimpatis akan lewat ke ganglia terminal atau masuk ke dalam suatu efektor viseral. Dalam ganglion, neuron prasinaps umumnya akan bersinaps dengan empat atau lima neuron postsinaps, di mana semuanya memasok suatu efektor visceral tertentu, menyebabkan respons parasimpatis hanya terlokalisir pada salah satu efektor.

PLEKSUS OTONOM

Pada toraks, abdomen dan pelvis, akson-akson saraf simpatis maupun parasimpatis akan membentuk hubungan yang saling terikat, yaitu pleksus otonom, yang terletak di sepanjang arteri mayor. Pleksus otonom juga memiliki beberapa ganglia simpatis dan akson-akson dari neuron otonom. Pleksus-pleksus mayor pada toraks adalah pleksus kardiak, yang memasok jantung, dan pleksus pulmonal, yang memasok percabangan bronkial.

Abdomen dan pelvis juga memiliki pleksus-pleksus otonom mayor, dan umumnya pleksus-pleksus tersebut memiliki nama yang serupa dengan arteri-arteri tempat mereka terdistribusi. Pleksus solaris (seliaka) merupakan pleksus otonom terbesar yang mengelilingi trunkus seliaka. Struktur tersebut memiliki dua ganglia seliaka mayor, dua ganglia aortikorenal, dan banyak hubungan dengan akson-akson otonom, serta terdistribusi pada perut, limpa, pankreas, hati, empedu, ginjal, medula adrenal, testis,

dan ovarium. Pleksus mesenterikus superior tersusun atas ganglion mesenterikus superior dan memasok usus halus serta usus besar. Pleksus mesenterikus inferior memiliki ganglion mesenterikus inferior, yang menginervasi usus besar. Akson-akson dari neuron postganglion simpatis dari ganglion mesenterikus inferior juga memanjang melewati pleksus hipogastrikus, yang terdapat di anterior vertebra lumbal ke-5 dan menginervasi visera pelvis. Pleksus renal tersusun atas ganglion renal dan menginervasi arteri renalis dalam ginjal dan ureter.

STRUKTUR SIMPATIS

Jaras dari Medula Spinalis ke Ganglia Trunkus Simpatetikus

Badan sel neuron simpatis praganglion merupakan bagian dari substansia grisea dari seluruh segmen torakal dan dua segmen teratas lumbal dari medula spinalis. Akson-akson praganglion keluar dari medula spinalis bersama dengan neuron motorik somatis pada segmen yang sama dari medula spinalis. Setelah keluar melewati foramina intervertebral, akson-akson praganglion simpatis termieliniasi akan lewat dari akar anterior nervus spinalis dan masuk ke dalam jaras pendek yang disebut ramus putih sebelum keluar ke ganglion trunkus simpatetikus terdekat pada sisi yang sama.

Pengurutan Ganglia Trunkus Simpatetikus

Ganglia trunkus simpatetikus yang berpasangan tersusun di anterior dan lateral dari kolumna vertebralis. Terdapat 3 ganglia servikal, 11 atau 12 torakal, 4 atau 5 lumbal, 4 atau 5 sakral, dan 1 trunkus simpatetikus koksigeal.³ Ganglia koksigeal kanan dan kiri bersatu dan umumnya berada pada garis tengah. Walaupun, ganglia trunkus simpatetikus memanjang dari inferior leher, dada, dan abdomen sampai koksigis, mereka mendapatkan akson-akson praganglion hanya dari segmen torakal dan lumbal medula spinalis.

Bagian servikal dari setiap trunkus simpatetikus terletak di leher dan terbagi menjadi ganglia superior, media, dan inferior.³ Neuron postganglion keluar dari ganglion servikalis superior dan menginervasi kepala dan jantung. Struktur tersebut terdistribusi ke kelenjar keringat, otot polos mata, pembuluh darah

wajah, kelenjar air mata, kelenjar pineal, mukosa nasal, kelenjar liur (submandibula, sublingual, dan parotis), serta jantung. Neuron-neuron postganglion keluar dari ganglion servikalis media dan ganglion servikalis inferior serta menginervasi jantung dan pembuluh darah leher, bahu, dan ekstremitas superior.

Bagian torakal dari trunkus simpatetikus berada di anterior dari leher pada setiap iga. Bagian trunkus simpatetikus ini sebagian besar berasal dari akson-akson praganglion simpatis. Neuron-neuron postganglion dari trunkus simpatetikus torakal menginervasi jantung, paru-paru, bronki, dan visera torakal lainnya. Pada kulit, neuron-neuron tersebut menginervasi kelenjar keringat, pembuluh darah, dan otot erektor pili folikel rambut.

Jaras dari Ganglia Trunkus Simpatetikus ke Efektor Visceral

Akson-akson keluar dari trunkus simpatetikus dengan empat cara, yaitu (1) masuk ke nervus spinalis; (2) membentuk nervus sefalik periarterial; (3) membentuk saraf simpatis; dan (4) membentuk nervus splanchnikus.³

1. Nervus Spinalis

Akson-akson dari neuron postganglion keluar dari trunkus simpatetikus dan masuk ke dalam jaras pendek yang disebut ramus abu-abu, kemudian bersatu dengan ramus anterior nervus spinalis. Ramus abu-abu komunikantes memiliki struktur yang tersusun atas akson-akson postganglion simpatis yang berhubungan dengan ganglia trunkus simpatetikus nervus spinalis. Istilah "abu-abu" diberikan karena struktur tersebut memiliki akson-akson yang tidak termieliniasi.³ Akson-akson neuron postganglion keluar dari trunkus simpatetikus dan masuk ke medula spinalis untuk memberikan inervasi simpatis pada efektor viseral di kulit leher, trunkus, dan ekstremitas, mencakup kelenjar keringat, otot polos pembuluh darah, serta otot erektor pili folikel rambut.³

2. Nervus Periarterial Sefalik

Beberapa neuron praganglion simpatis yang masuk ke trunkus simpatetikus akan naik ganglion servikalis superior, di mana kemudian bersinaps dengan neuron postganglion. Akson-

akson dari beberapa neuron postganglion kemudian meninggalkan trunkus simpatetik dengan membentuk nervus periarterial sefalik yang memanjang ke kepala dan berada pada jalur yang berdekatan serta menyelubungi arteri tertentu (contoh: arteri karotis) yang lewat dari leher ke kepala. Nervus periarterial sefalik memasok inervasi simpatis terhadap efektor viseral kulit wajah (kelenjar keringat, otot polos pembuluh darah, otot erektor pili folikel rambut), begitu pula dengan efektor viseral lainnya dari kepala (otot polos mata, kelenjar air mata, kelenjar pineal, mukosa nasal, dan kelenjar liur).

NERVUS SIMPATIS

Beberapa neuron simpatis perganglionik bersinaps dengan neuron postganglion pada satu atau lebih ganglia trunkus simpatetik.³ Akson-akson neuron postganglion kemudian meninggalkan trunkus dengan membentuk nervus simpatis yang memanjang sampai efektor viseral rongga toraks. Nervus simpatis memasok inervasi simpatis pada jantung dan paru-paru.

1. Nervus simpatis jantung. Inervasi simpatis pada jantung tersusun atas akson-akson neuron praganglion yang masuk ke trunkus simpatetik dan membentuk sinaps dengan neuron postganglion pada ganglia servikal superior, media, dan inferior, serta ganglia torakal pertama sampai ke-4 (T_1 - T_4).³ Dari ganglia tersebut, akson-akson neuron postganglion kemudian keluar dari trunkus simpatetik dengan membentuk pleksus kardiak untuk memberi pasokan pada jantung.
2. Nervus simpatis paru-paru. Inervasi simpatis terhadap paru tersusun atas akson-akson neuron praganglion yang masuk ke trunkus simpatetik dan membentuk sinaps dengan neuron postganglion pada ganglia torakal ke-2 sampai ke-4 (T_2 - T_4).³ Dari ganglia tersebut, akson-akson neuron postganglion simpatis kemudian keluar dari trunkus dengan membentuk nervus simpatis yang memasuki pleksus pulmonal untuk memberi pasokan pada otot polos bronkial dan bronkioli paru-paru.
3. Nervus splanknik. Akson-akson praganglion simpatis melewati trunkus simpatetik tanpa berakhir pada struktur tersebut.³ Di atas trunkus

simpatetik, akson-akson tersebut membentuk nervus splanknikus yang memanjang sampai ganglia prevertebral.

4. Nervus splanknik sampai organ abdominopelvis. Sebagian besar akson-akson praganglion simpatis yang memasuki nervus splanknikus akan bersinaps dengan neuron postganglion simpatis pada ganglia prevertebralis yang memberi pasokan pada organ-organ di rongga abdominopelvis. Akson-akson praganglion dari ganglia torakal ke-5 sampai ke-9/ke-10 (T_5 - T_9 atau T_{10}) membentuk nervus splanknikus mayor.³ Struktur tersebut menembus diafragma dan memasuki ganglion seliak pada pleksus seliak. Kemudian, neuron postganglion akan mengikuti dan menginervasi pembuluh darah ke perut, limpa, hati, ginjal, dan usus halus. Akson-akson praganglion dari ganglia torakal ke-10 dan ke-11 (T_{10} - T_{11}) akan membentuk nervus splanknikus minor.³ Struktur tersebut kemudian menembus diafragma dan melewati pleksus seliak serta memasuki ganglion aortikorenal dan ganglion mesenterikus superior pada pleksus mesenterikus. Neuron-neuron postganglion membentuk ganglion mesenterikus superior, kemudian mengikuti dan menginervasi pembuluh darah usus halus dan kolon proksimal. Nervus splanknikus yang terbawah, umumnya tidak selalu ada, dibentuk oleh akson-akson praganglion dari ganglia torakal ke-12 (T_{12}) atau cabang dari nervus splanknikus minor.³ Struktur tersebut menembus diafragma dan memasuki pleksus renalis untuk memasok arteriol ginjal dan ureter. Akson-akson praganglion yang membentuk nervus splanknikus lumbalis dari ganglia lumbal pertama sampai ke-4 (L_1 - L_4) memasuki pleksus mesenterikus inferior dan berakhir di ganglion mesenterikus inferior, di mana kemudian akan bersinaps dengan neuron-neuron postganglion.³ Akson-akson dari neuron postganglion berjalan melewati pleksus mesenterikus inferior untuk memasok kolon distal dan rektum, serta ke pleksus hipogastrik untuk memberi pasokan pada pembuluh darah di kolon distal, rektum, kandung kemih, dan organ genital. Akson-akson postganglion kemudian meninggalkan ganglia prevertebralis bersama beberapa jalur arteri ke efektor viseral abdomen dan pelvis.
5. Nervus splanknik sampai ke medula adrenal. Beberapa akson praganglion simpatis berjalan,

tanpa bersinaps, melewati trunkus simpatetikus, nervus splanknikus mayor, dan ganglion seliak, kemudian sampai ke sel kromafin pada medula adrenal pada kelenjar adrenal. Pada perkembangannya, medula adrenal dan ganglia simpatis berasal dari jaringan yang sama, yaitu krista neural. Medula adrenal merupakan perkembangan dari ganglia simpatis, di mana sel-sel kromafinnya serupa dengan neuron postganglion simpatis, kecuali kurangnya dendrit dan akson. Sel-sel tersebut memproduksi dan melepas hormon ke aliran darah. Pada rangsangan oleh neuron praganglion simpatis, sel-sel kromafin pada medula adrenal kemudian akan melepaskan campuran hormon katekolamin, sekitar 80% epinefrin, 20% norepinefrin, dan sedikit dopamin.³ Hormon-hormon tersebut kemudian bersirkulasi di aliran darah dan meningkatkan respons yang diinisiasi oleh neuron postganglion simpatis.

STRUKTUR PARASIMPATIS

Badan sel dari neuron praganglion parasimpatis dapat ditemukan pada nuklei batang otak dan substansia grisea lateral pada segmen sakral ke-2 sampai ke-4 dari medula spinalis.³ Jaras parasimpatis kranial tersusun atas akson-akson praganglion yang memanjang dari batang otak ke-4 nervus kranialis³. Jaras parasimpatis sakral tersusun atas akson-akson praganglion pada akar anterior dari segmen sakral ke-2 sampai ke-4 nervus spinalis.³ Akson-akson praganglion dari jaras kranial dan sakral kemudian berakhir di ganglia terminalis, di mana mereka bersinaps dengan neuron postganglion.

Jaras kranial memiliki empat pasang ganglia, serta ganglia yang berhubungan dengan nervus vagus (N. X).³ Keempat pasang ganglia parasimpatis menginervasi struktur pada kepala dan terletak dekat dengan organ tempat mereka memberikan inervasi.

1. Ganglia siliaris terletak pada lateral nervus optikus (N. II), dekat dengan bagian posterior orbita. Akson-akson praganglion melewati nervus okulomotorius (N. III) sampai ke

ganglia siliaris. Akson-akson postganglion dari ganglia menginervasi serat otot polos pada bola mata.

2. Ganglia pterigopalatina terletak di lateral foramen sfenopalatina, di antara tulang sfenoid dan palatina. Struktur tersebut mendapatkan akson-akson praganglion dari nervus fasialis (N. VII) dan mengirimkan akson-akson postganglion ke mukosa nasal, palatum, faring, dan kelenjar lakrimal.
3. Ganglia submandibula dapat ditemukan dekat dengan duktus kelenjar liur submandibula. Struktur tersebut mendapatkan akson-akson praganglion dari nervus fasialis dan mengirimkan akson-akson postganglion ke kelenjar liur submandibular dan sublingual.
4. Ganglia otikus terletak tepat di inferior foramina ovale. Struktur tersebut menerima akson praganglion dari nervus glossofaringeal (N. IX) dan mengirimkan akson-akson postganglion ke kelenjar liur parotis.

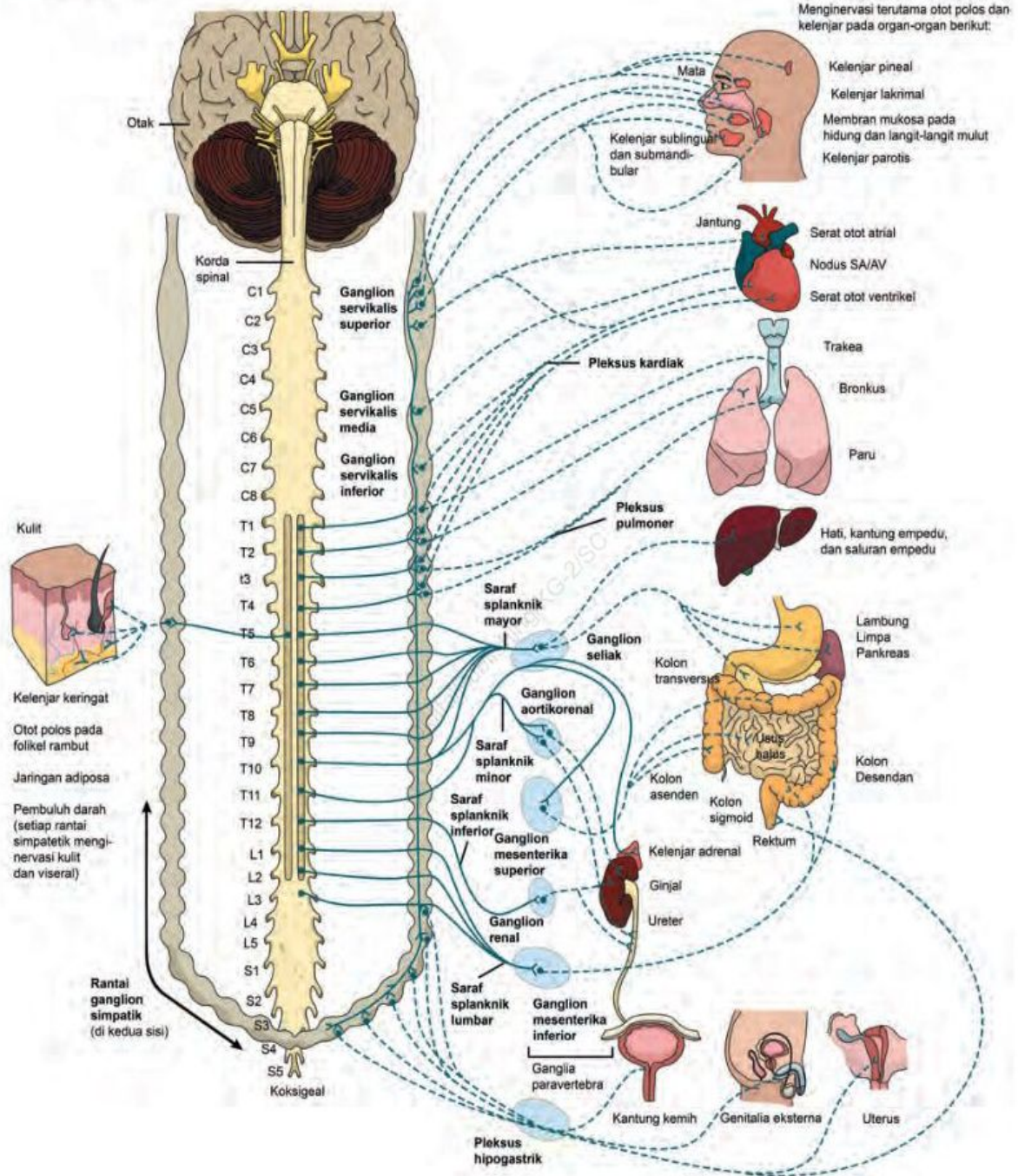
Akson-akson praganglion yang meninggalkan otak sebagai bagian dari nervus vagus (N. X) membawa sekitar 80% dari keseluruhan jaras kraniosakral.³ Akson-akson vagal meluas ke berbagai ganglia terminalis pada toraks dan abdomen. Saat nervus vagus melewati toraks, struktur tersebut mengirimkan akson-akson ke jantung dan jalan napas, yaitu paru-paru. Pada abdomen, struktur tersebut memasok hati, empedu, perut, pankreas, usus halus, dan sebagian usus besar.

Jaras parasimpatis sakral tersusun atas akson-akson praganglion dari akar anterior segmen sakral ke-2 sampai ke-4 dari medula spinalis.³ Saat akson-akson praganglion berjalan dalam nervus spinalis sakralis, struktur tersebut kemudian bercabang dan membentuk nervus splanknikus pelvis. Nervus tersebut kemudian bersinaps dengan neuron postganglion parasimpatis di ganglia terminalis pada dinding visera yang terinervasi. Dari ganglia terminalis, akson-akson postganglion parasimpatis menginervasi otot polos dan kelenjar dari dinding kolon, ureter, kandung kemih, dan organ reproduktif.

DIVISI SIMPATETIK (torakolumbar)

Keterangan:

← Saraf preganglion ← Saraf pascaganglion



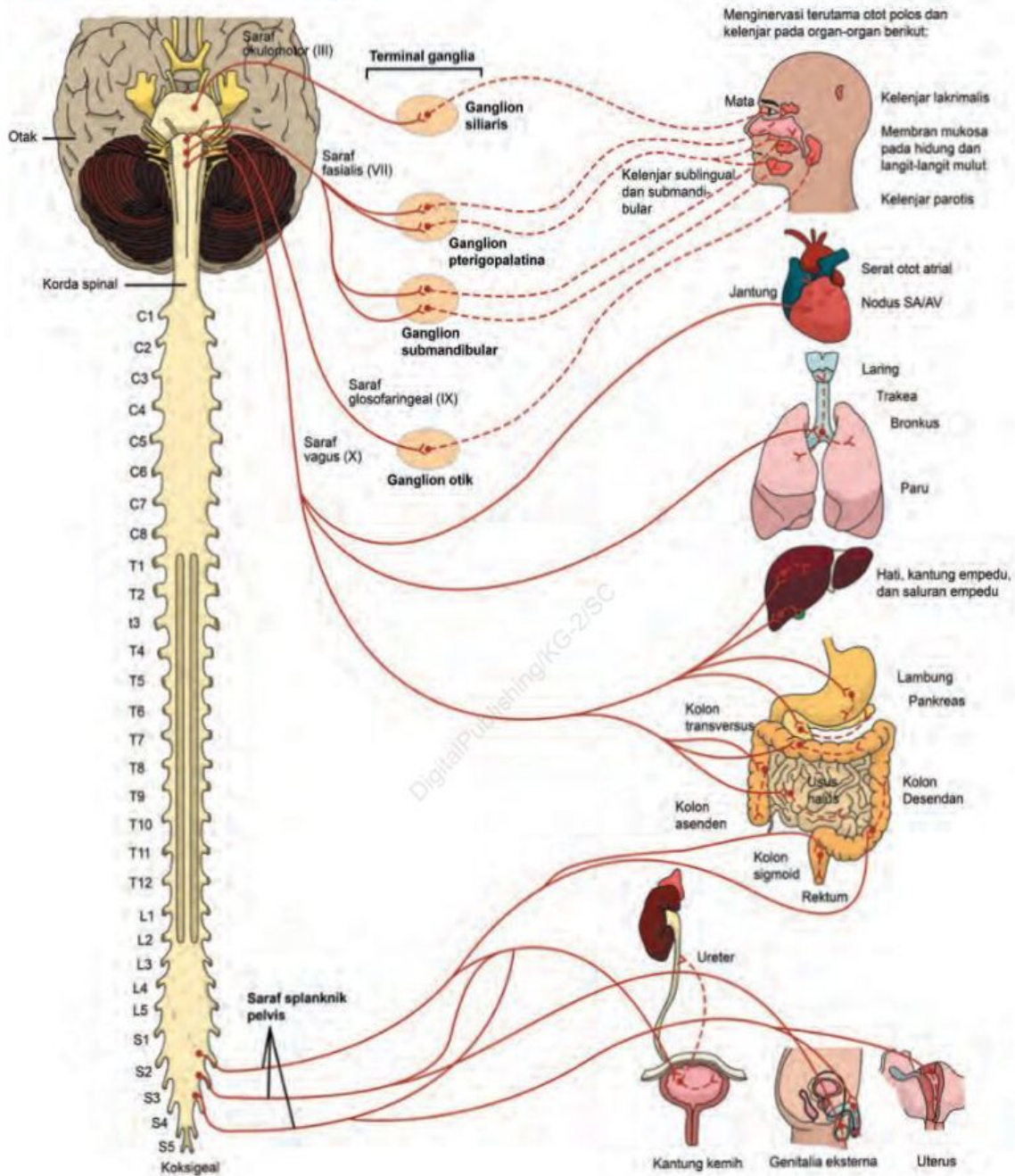
Gambar 6.9 Sistem saraf simpatik

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al.¹

DIVISI PARASIMPATETIK (kraniosakral)

Keterangan:

— Saraf preganglion — Saraf pascaganglion



Gambar 6.10 Sistem saraf parasimpatis
 Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al.¹

REFERENSI

1. Standring S, editor. Neuroanatomy. In: Gray's Anatomy The Anatomical Basis of Clinical Practice. Edisi ke-41. London: Elsevier; 2016. p. 227-398.
2. Georgiou A, Thompson C, Nickells J. Organisation of the nervous system. In: Applied Anatomy for Anaesthesia and Intensive Care. Cambridge: Cambridge University Press; 2014. p. 1-11.
3. Tortora GJ, Derrickson B. Principles of Anatomy and Physiology. Edisi ke-15. Recter P, Guarascio M, Rama L, Myers L, Skidmore M, editors. United States of America: Wiley; 2017.
4. Georgiou A, Thompson C, Nickells J. The Spine. In: Applied Anatomy for Anaesthesia and Intensive Care. Cambridge: Cambridge University Press; 2014. p. 12-31.
5. Ellis H, Lawson A. The Peripheral Nerves. In: Anatomy for Anaesthetists. 9th ed. Wiley Blackwell; 2014. p. 147-55.
6. Ellis H, Lawson A. The Autonomic Nervous System. In: Anatomy for Anaesthetists. Edisi ke-9. New Delhi: Wiley Blackwell; 2014. p. 225-41.

DigitalPublishing/KG-2/SC

Anestesiologi dan Terapi Intensif

“Dokter spesialis Anestesiologi dan Terapi Intensif di Indonesia membutuhkan peningkatan kompetensi secara berkesinambungan dengan latar belakang pengetahuan dan keterampilan yang mumpuni untuk memenuhi pelayanan yang optimal. Pendidikan menjadi salah satu pilar penting dalam pembentukan dokter spesialis Anestesiologi dan Terapi Intensif yang kompeten. Buku ini diharapkan dapat mendukung pendidikan dokter spesialis dan subspecialis anestesiologi dan terapi intensif yang nantinya diharapkan memiliki bekal keilmuan yang cukup untuk memberikan pelayanan berkualitas, optimal, dan profesional di bidang anestesi dan terapi intensif.”

—**dr. Andi Wahyuningsih Attas, Sp.An, KIC, MARS**
Ketua PP PERDATIN

“Anestesiologi dan Terapi Intensif adalah ilmu yang berkembang dengan sangat pesat dalam dekade terakhir. Menyadari luasnya cakupan bidang ilmu tersebut, kami mengajak seluruh program studi pendidikan dokter spesialis anestesiologi dan terapi intensif serta keseminatan yang ada di Indonesia untuk terlibat dalam penyusunan buku ini. Kami berharap buku teks *Anestesiologi dan Terapi Intensif* ini dapat berguna tidak hanya bagi mahasiswa dan peserta didik program pendidikan dokter spesialis anestesiologi, tetapi juga bagi pengembangan keprofesian dokter spesialis dan subspecialis anestesiologi di Indonesia.”

—**Prof. Dr. dr. Nancy Margarita Rehatta, Sp.An, KNA, KMN**
Ketua Tim Editor Anestesiologi dan Terapi Intensif: Buku Teks KATI-PERDATIN,
Ketua Kolegium Anestesiologi dan Terapi Intensif

Anestesiologi dan Terapi Intensif; Buku Teks KATI-PERDATIN:

- Terdiri dari 17 bagian dan 117 bab;
- Mengulas tentang fisiologi dan farmakologi yang berhubungan dengan anestesi dan terapi intensif, juga tentang praktik manajemen anestesi, penanggulangan nyeri, kegawatdaruratan, serta terapi intensif pada berbagai prosedur dan komorbid pasien;
- Disajikan secara holistik, komprehensif, dan sesuai dengan pedoman terkini;
- Ditulis oleh para spesialis dan subspecialis anestesiologi dari berbagai institusi pendidikan di Indonesia.

Penerbit
PT Gramedia Pustaka Utama
Kompas Gramedia Building
Blok I Lantai 5
Jl. Palmerah Barat 29–37
Jakarta 10270
www.gpu.id

