



# Dasar-Dasar Ilmu Biomedik Struktur Dan Fungsi

Yohanes Gamayana T Aji ■ Mayer Derold Panjaitan  
Cesarina Silaban ■ Diana Irawati ■ Nia Rosliany  
Nurhayati Siagian ■ Sharely Nursy Siringoringo ■ Edi Supriadi  
Arlie Jeannete Manoppo ■ Nining Indrawati ■ Dhea Natasha  
Cicielia Ernawati Rahayu ■ Sulastri ■ R. Ade Sukarna

# Dasar-Dasar Ilmu Biomedik Struktur Dan Fungsi



## UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. 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).
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 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).

# **Dasar-dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi**

Yohanes Gamayana T Aji, Mayer Derold Panjaitan  
Cesarina Silaban, Diana Irawati, Nia Rosliany  
Nurhayati Siagian, Sharely Nursy Siringoringo, Edi Supriadi  
Arlie Jeannete Manoppo, Nining Indrawati, Dhea Natashia  
Cicielia Ernawati Rahayu, Sulastri, R. Ade Sukarna



Penerbit Yayasan Kita Menulis

# Dasar-dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:

Yohanes Gamayana T Aji, Mayer Derold Panjaitan  
Cesarina Silaban, Diana Irawati, Nia Rosliany  
Nurhayati Siagian, Sharely Nursy Siringoringo, Edi Supriadi  
Arlie Jeannete Manoppo, Nining Indrawati, Dhea Natashia  
Cicielia Ernawati Rahayu, Sulastri, R. Ade Sukarna

Editor: Ronal Watrianthos

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: [kitamenulis.id](http://kitamenulis.id)

e-mail: [press@kitamenulis.id](mailto:press@kitamenulis.id)

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Yohanes Gamayana T Aji., dkk.

Dasar-dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi

Yayasan Kita Menulis, 2023

xvi; 232 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-881-1

Cetakan 1, Juli 2023

- I. Dasar-dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi
- II. Yayasan Kita Menulis

## Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa  
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

# Kata Pengantar

Puji dan syukur, penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas kasih karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku yang berjudul “Dasar-Dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi”. Sebuah buku yang merupakan hasil karya kolaborasi dari rekan-rekan sejawat di dunia kesehatan yang tersebar dari berbagai daerah di Indonesia.

Buku “Dasar-Dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi” sangat direkomendasikan untuk dibaca khususnya bagi dosen, mahasiswa/i, dan praktisi kesehatan, karena di dalamnya dikupas secara tuntas dan menggunakan bahasa serta gambar yang mudah dipahami.

Adapun beberapa topik yang dibahas dalam buku ini tentang:

- Bab 1 Dasar - Dasar Anatomi Tubuh Manusia
- Bab 2 Struktur, Fungsi Sel, Jaringan, dan Sistem Tubuh Manusia
- Bab 3 Prinsip-Prinsip Fisika Kesehatan Dalam Keperawatan
- Bab 4 Struktur dan Fungsi Sistem Integumen
- Bab 5 Struktur dan Fungsi Sistem Muskuloskeletal
- Bab 6 Struktur dan Fungsi Sistem Sensori
- Bab 7 Struktur dan Fungsi Sistem Endokrin
- Bab 8 Struktur dan Fungsi Sistem Kardiovaskuler
- Bab 9 Fungsi Sistem Limfatik Serta Kekebalan Tubuh
- Bab 10 Struktur dan Fungsi Sistem Pernapasan
- Bab 11 Struktur dan Fungsi Sistem Pencernaan
- Bab 12 Struktur dan Fungsi Sistem Perkemihan
- Bab 13 Struktur dan Fungsi Sistem Persarafan
- Bab 14 Metabolisme dan Pengaturan Suhu Tubuh

Penulis mengucapkan terima kasih kepada penerbit Yayasan Kita Menulis yang telah menerbitkan buku ini. Semoga keberadaan buku ini dapat menjadi sumber informasi dan menambah wawasan para pembaca mengenai pentingnya mengenal struktur dan fungsi tubuh manusia. Penulis menyadari buku ini masih ada keterbatasan, oleh karenanya penulis mengharapkan masukan yang membangun dari berbagai pihak guna perbaikan lebih lanjut.

Akhir kata, penulis berharap semoga buku ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang kesehatan.

Jakarta, Juni 2023

Penulis

# Daftar Isi

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Kata Pengantar ..... | v   |
| Daftar Isi .....     | vii |
| Daftar Gambar .....  | xi  |
| Daftar Tabel .....   | xv  |

## **Bab 1 Dasar - Dasar Anatomi Tubuh Manusia**

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Pendahuluan .....  | 1 |
| 1.2 Cabang Ilmu Anatomi dan Struktur Anatomi Tubuh Manusia ..... | 3 |
| 1.3 Istilah Anatomi .....  | 5 |

## **Bab 2 Struktur, Fungsi Sel, Jaringan, dan Sistem Tubuh Manusia**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 2.1 Pendahuluan .....               | 15 |
| 2.2 Sel .....                       | 17 |
| 2.2.1 Struktur Sel .....            | 18 |
| 2.2.2 Organel Sitoplasma .....      | 20 |
| 2.2.3 Teori-Teori Tentang Sel ..... | 26 |
| 2.3 Jaringan .....                  | 27 |
| 2.4 Organ .....                     | 31 |
| 2.5 Sistem Organ .....              | 34 |

## **Bab 3 Prinsip-Prinsip Fisika Kesehatan Dalam Keperawatan**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Pendahuluan .....  | 37 |
| 3.2 Biomekanika .....  | 39 |
| 3.3 Bioakustik .....   | 39 |
| 3.4 Bio Optik .....  | 43 |
| 3.5 Penerapan Prinsip-Prinsip Fisika Dalam Pemeliharaan Alat Kesehatan ..... | 47 |

## **Bab 4 Struktur dan Fungsi Sistem Integumen**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 4.1 Pendahuluan .....              | 51 |
| 4.2 Struktur Kulit .....           | 52 |
| 4.2.1 1 Lapisan Epidermis .....    | 53 |
| 4.3 Struktur Aksesoris Kulit ..... | 57 |
| 4.3.1 Rambut .....                 | 57 |
| 4.3.2 Kelenjar Kulit .....         | 58 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 4.3.3 Kuku .....      | 59 |
| 4.4 Fungsi Kulit..... | 60 |

## **Bab 5 Struktur dan Fungsi Sistem Muskuloskeletal**

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 5.1 Pendahuluan.....         | 63 |
| 5.2 Tulang.....              | 64 |
| 5.3 Sendi .....              | 70 |
| 5.4 Otot .....               | 71 |
| 5.4.1 Jenis-Jenis Otot ..... | 71 |
| 5.4.2 Aksi Otot Rangka ..... | 73 |

## **Bab 6 Struktur dan Fungsi Sistem Sensori**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 6.1 Pendahuluan.....                  | 75 |
| 6.2 Struktur dan Fungsi Lidah .....   | 77 |
| 6.3 Struktur dan Fungsi Hidung.....   | 80 |
| 6.4 Struktur dan Fungsi Telinga ..... | 82 |
| 6.5 Struktur dan Fungsi Mata.....     | 85 |
| 6.6 Struktur dan Fungsi Kulit.....    | 89 |

## **Bab 7 Struktur dan Fungsi Sistem Endokrin**

|   |     |
|---|-----|
| 7.1 Pendahuluan.....                                    | 93  |
| 7.2 Pengertian Sistem Endokrin .....                    | 94  |
| 7.3 Anatomi Fisiologi Sistem Endokrin.....              | 97  |
| 7.4 Kelenjar-Kelenjar Endokrin Dalam Tubuh Manusia..... | 98  |
| 7.4.1 Kelenjar Pinealis .....                           | 98  |
| 7.4.2 Kelenjar Hipofisis (Master Of Gland).....         | 99  |
| 7.4.3 Kelenjar Tiroid.....                              | 102 |
| 7.4.4 Kelenjar Paratiroid.....                          | 104 |
| 7.4.5 Kelenjar Suprarenalis/Adrenal.....                | 105 |
| 7.4.6 Kelenjar Thymus .....                             | 108 |
| 7.4.7 Kelenjar Pankreas .....                           | 108 |
| 7.4.8 Kelenjar Gonad/Kelamin .....                      | 110 |

## **Bab 8 Struktur dan Fungsi Sistem Kardiovaskuler**

|  |     |
|--|-----|
| 8.1 Pendahuluan.....                     | 113 |
| 8.2 Struktur Sistem Kardiovaskuler ..... | 114 |
| 8.2.1 Jantung.....                       | 114 |
| 8.2.2 Pembuluh Darah .....               | 116 |
| 8.2.3 Peredaran Darah.....               | 120 |

**Bab 9 Fungsi Sistem Limfatik Serta Kekebalan Tubuh**

|   |     |
|---|-----|
| 9.1 Pendahuluan.....                            | 123 |
| 9.2 Sistem Limfatik .....                       | 125 |
| 9.2.1 Struktur dan Fungsi Sistem Limfatik ..... | 126 |
| 9.3 Sistem Kekebalan Tubuh.....                 | 132 |
| 9.3.1 Struktur dan Fungsi Sistem Kekebalan..... | 133 |

**Bab 10 Struktur dan Fungsi Sistem Pernapasan**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 10.1 Pendahuluan.....                 | 143 |
| 10.2 Struktur Sistem Pernapasan ..... | 144 |
| 10.2.1 Saluran Pernapasan Atas.....   | 145 |
| 10.2.2 Saluran Pernapasan Bawah.....  | 146 |
| 10.3 Fungsi Sistem Pernapasan .....   | 148 |

**Bab 11 Struktur dan Fungsi Sistem Pencernaan**

|  |     |
|--|-----|
| 11.1 Pendahuluan.....  | 151 |
| 11.2 Struktur Sistem Cerna .....                                   | 153 |
| 11.3 Anatomi Fungsional Sistem Cerna .....                         | 155 |
| 11.3.1 Mulut .....   | 155 |
| 11.3.2 Faring.....   | 157 |
| 11.3.3 Esofagus .....  | 158 |
| 11.3.4 Lambung .....   | 158 |
| 11.3.5 Pankreas .....  | 160 |
| 11.3.6 Hepar dan Kandung Empedu .....                              | 161 |
| 11.3.7 Usus Halus .....  | 163 |
| 11.3.8 Usus Besar.....   | 164 |
| 11.4 Pencernaan Mekanik dan Kimiawi di Lambung .....               | 165 |
| 11.5 Pencernaan Mekanik, Kimiawi, dan Absorpsi di Usus Halus ..... | 166 |
| 11.6 Pencernaan Mekanik, Kimiawi, dan Absorpsi di Usus Besar ..... | 168 |
| 11.7 Tahapan Proses Pencernaan .....                               | 169 |

**Bab 12 Struktur dan Fungsi Sistem Perkemihan**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 12.1 Pendahuluan.....                 | 171 |
| 12.2 Struktur Sistem Perkemihan ..... | 172 |
| 12.2.1 Ginjal .....                   | 172 |
| 12.2.2 Ureter .....                   | 174 |
| 12.2.3 Kandung Kemih.....             | 175 |
| 12.2.4 Uretra.....                    | 177 |

|   |     |
|---|-----|
| 12.3 Fisiologi Sistem Perkemihan.....                                 | 179 |
| 12.3.1 Fungsi Ginjal.....   | 179 |
| 12.3.2 Filtrasi Glomerulus.....                                       | 181 |
| 12.3.3 Laju Filtrasi Glomerulus (Glomerulus Filtration Rate/GFR)..... | 182 |
| 12.3.4 Proses Pembentukan Urine.....                                  | 183 |
| <br>  |     |
| <b>Bab 13 Struktur dan Fungsi Sistem Persarafan</b>                   |     |
| 13.1 Pendahuluan.....   | 187 |
| 13.2 Sel Saraf.....   | 188 |
| 13.3 Fungsi dan Susunan Sistem Persarafan.....                        | 190 |
| 13.4.1 Central Nervous System.....                                    | 192 |
| 13.4.2 Peripheral Nervous System.....                                 | 197 |
| 13.5 Fisiologi Sistem Persarafan.....                                 | 201 |
| <br>  |     |
| <b>Bab 14 Metabolisme dan Pengaturan Suhu Tubuh</b>                   |     |
| 14.1 Pendahuluan.....   | 205 |
| 14.2 Tingkat Metabolisme (Metabolisme Rate).....                      | 206 |
| 14.3 Faktor Mempengaruhi Metabolisme Tubuh.....                       | 208 |
| 14.4 Pengaturan Suhu Tubuh.....                                       | 209 |
| <br>  |     |
| Daftar Pustaka.....   | 215 |
| Biodata Penulis.....  | 225 |

# Daftar Gambar

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1: Posisi Anatomi Dengan Aturan Berdiri Tegak.....                           | 6  |
| Gambar 1.2: Posisi Anatomi Dengan Aturan Berdiri Tegak - Berbaring<br>Telentang ..... | 6  |
| Gambar 1.3: Planum Sagitalis .....  | 7  |
| Gambar 1.4: Planum Frontalis .....  | 7  |
| Gambar 1.5: Sutura Sagitalis dan Sutura Coronalis .....                               | 7  |
| Gambar 1.6: Planum Transversalis .....  | 8  |
| Gambar 1.7: Superior dan Inferior .....   | 8  |
| Gambar 1.8: Anterior dan Posterior .....  | 9  |
| Gambar 1.9: Superficial dan Profundal.....  | 9  |
| Gambar 1.10: Medial dan Lateral.....  | 10 |
| Gambar 1.11: Superior dan Inferior .....  | 10 |
| Gambar 1.12: Dekstra dan Sinistra.....  | 11 |
| Gambar 1.13: Fleksi dan Ekstensi Sendi Bahu, Siku, dan Lutut.....                     | 11 |
| Gambar 1.14: Adduksi dan Abduksi Lengan, Tungkai.....                                 | 12 |
| Gambar 1.15: Elevasi dan Depresi .....  | 12 |
| Gambar 1.16: Inversi dan Eversi .....   | 13 |
| Gambar 1.17: Supinasi dan Pronasi .....   | 13 |
| Gambar 2.1: Tingkatan Organisasi Manusia .....  | 16 |
| Gambar 2.2: Struktur Sel.....   | 18 |
| Gambar 2.3: Mitokondria.....  | 20 |
| Gambar 2.3: Ribosom .....   | 21 |
| Gambar 2.4: Retikulum Endoplasma .....  | 22 |
| Gambar 2.5: Aparatus Golgi.....   | 22 |
| Gambar 2.6: Lisosom .....   | 23 |
| Gambar 2.7: Peroksisom .....  | 23 |
| Gambar 2.8: Sitoskeleton.....   | 24 |
| Gambar 2.9: Sentriol.....   | 25 |
| Gambar 2.10: Silia dan Flagela.....   | 25 |
| Gambar 2.11: Mikrovili.....   | 26 |
| Gambar 2.12: Jaringan Tubuh Manusia.....  | 28 |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 2.13: Sistem Organ Tubuh Manusia.....                                   | 34  |
| Gambar 4.1: Struktur Kulit .....   | 53  |
| Gambar 4.2: Lapisan-Lapisan Epidermis .....                                    | 55  |
| Gambar 4.3: Lokasi dan Struktur Rambut.....                                    | 58  |
| Gambar 4.4: Potongan Sagital Bagian-Bagian Kuku .....                          | 60  |
| Gambar 5.1: Bentuk-Bentuk Tulang .....   | 64  |
| Gambar 5.2: Komponen Tulang Panjang .....                                      | 65  |
| Gambar 5.3: Rangka Aksial.....   | 67  |
| Gambar 5.4: Tulang Wajah.....  | 67  |
| Gambar 5.5: Kolumna Vertebralis Dan Struktur Tulang Iga .....                  | 68  |
| Gambar 5.6: Bones of the Appendicular Skeleton.....                            | 68  |
| Gambar 5.7: Extremitas Atas.....   | 69  |
| Gambar 5.8: Anatomi Tulang Ekstremitas Bawah .....                             | 69  |
| Gambar 5.9: Beberapa Contoh Sendi Yang Ditemukan Pada Tubuh Manusia.....       | 70  |
| Gambar 5.10: Struktur Sendi Sinovial .....                                     | 71  |
| Gambar 5.11: Sistem Muskular dan Otot Rangka .....                             | 72  |
| Gambar 5.12: Jenis-Jenis Otot.....   | 73  |
| Gambar 5.13: Otot Insersi dan Origo.....                                       | 73  |
| Gambar 5.14: Abduksi dan Adduksi Pada Sendi Bahu .....                         | 74  |
| Gambar 5.15: Dorsifleksi (A) dan Plantar Fleksi (B) Pada Sendi Kaki .....      | 74  |
| Gambar 6.1: Lidah (a) Permukaan Lidah, (b) Taste Bud, (c) Gustatory Cell ..... | 78  |
| Gambar 6.2: Hidung .....   | 80  |
| Gambar 6.3: Telinga.....   | 83  |
| Gambar 6.4: Pemotongan Sagital Bola Mata .....                                 | 85  |
| Gambar 6.5: Sel Batang dan Sel Kerucut .....                                   | 87  |
| Gambar 6.6: (a) Mata Normal, (b) Miopi, (c) Hipermetropi, (d) Astigmatism..... | 88  |
| Gambar 6.7: Penampang Kulit .....  | 89  |
| Gambar 7.1: Anatomi Sistem Endokrin.....                                       | 97  |
| Gambar 7.2: Kelenjar Pinealis .....  | 99  |
| Gambar 7.3: Kelenjar Hipofisis Anterior dan Posterior.....                     | 100 |
| Gambar 7.4: Kelenjar Tiroid.....   | 102 |
| Gambar 7.5: Kelenjar Paratiroid.....   | 104 |
| Gambar 7.6: Kelenjar Suprarenalis/Adrenal.....                                 | 105 |
| Gambar 7.7: Kelenjar Thymus .....  | 108 |
| Gambar 7.8: Kelenjar Pankreas .....  | 109 |
| Gambar 7.9: Kelenjar Gonad/Kelamin .....                                       | 111 |
| Gambar 8.1: Penampang Jantung.....   | 115 |
| Gambar 8.2: Penampang Pembuluh Darah .....                                     | 117 |
| Gambar 8.3: Aliran Arteri Pada Tubuh.....                                      | 118 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 8.4: Aliran Vena Pada Tubuh.....  | 119 |
| Gambar 8.3: Skema Peredaran Darah.....   | 121 |
| Gambar 10.1: Struktur Sistem Pernapasan .....  | 144 |
| Gambar 10.2: Gambar Percabangan Seperti Pohon Dari Saluran Pernapasan<br>Bagian Bawah..... | 147 |
| Gambar 11.1: Struktur Sistem Pencernaan.....   | 152 |
| Gambar 11.2: Struktur Rongga Mulut .....   | 156 |
| Gambar 11.3: Struktur Lambung.....   | 160 |
| Gambar 11.4: Struktur Pankreas, Hati, Kandung Empedu, dan Duodenum                         | 161 |
| Gambar 12.1: Kidney .....  | 173 |
| Gambar 12.2: Vaskularisasi Ureter .....  | 175 |
| Gambar 12.3: Vesika Urinaria .....   | 177 |
| Gambar 13.1: Neuron .....  | 189 |
| Gambar 13.2: Susunan Sistem Persarafan .....   | 191 |
| Gambar 13.3: Otak .....  | 192 |
| Gambar 13.4: Lapisan Pelindung Otak.....   | 193 |
| Gambar 13.5: Medulla Spinalis.....   | 196 |
| Gambar 13.6: Saraf Kranial .....   | 199 |
| Gambar 13.7: Saraf Parasimpatik dan Simpatik.....  | 201 |
| Gambar 13.8: Fisiologi Refleks.....  | 204 |



# Daftar Tabel

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 2.1: Organ dan Fungsinya.....   | 32  |
| Tabel 7.1: Hormon Berdasarkan Unsur Kimianya.....   | 95  |
| Tabel 7.2: Hormon Pada Lobus Hipofisis Anterior .....   | 100 |
| Tabel 7.3: Hormon Pada Lobus Hipofisis Posterior .....  | 101 |
| Tabel 7.4: Hormon yang Dihasilkan Dari Kelenjar Tiroid.....   | 103 |
| Tabel 7.5: Hormon yang Dihasilkan Dari Kelenjar Suprarenalis/ Adrenal<br>Bagian Korteks Beserta Fungsinya ..... | 106 |
| Tabel 7.6: Hormon yang Dihasilkan Dari Kelenjar Suprarenalis/ Adrenal<br>Bagian Medulla Beserta Fungsinya ..... | 107 |
| Tabel 13.1: Saraf Kranial .....   | 198 |



# Bab 1

## Dasar - Dasar Anatomi Tubuh Manusia

### 1.1 Pendahuluan

Anatomi merupakan salah satu bagian dari penyusun ilmu biomedik dasar yang secara spesifik menjelaskan tentang bentuk dan susunan tubuh manusia dengan cara menguraikan tubuh melalui potongan-potongan bagian tubuh dan bagaimana hubungan organ tubuh satu dengan yang lain. Setiap organ dalam tubuh berperan menjaga dan mempertahankan kesehatan seluruh tubuh, jika terdapat salah satu organ mengalami gangguan, maka akan berpengaruh pada seluruh bagian tubuh.

Oleh karenanya, pemahaman dan pengetahuan yang baik tentang anatomi tubuh manusia, kelak akan sangat membantu bagi setiap profesi bidang kesehatan (baik dokter, perawat maupun bidan) dalam menjalankan tugas dan perannya sebagai pemberi asuhan / layanan kesehatan.

#### **Pengertian Anatomi**

Anatomi dalam bahasa Yunani secara harfiah diartikan sebagai “membuka suatu potongan”. Anatomi berasal dari bahasa Latin yaitu *ana* yang berarti bagian/memisahkan dan *tomi* (tomie) yang berarti iris atau potong. Istilah ini

pertama kali diperkenalkan oleh Aristoteles (384-322 BC) dengan nama “*Anatome*”. Anatomi manusia diajarkan untuk pertama kali di Yunani oleh seorang Dokter ilmuwan Yunani Kuno bernama Hippocrates (460- 377 SM), yang kemudian dianggap sebagai Bapak Kedokteran dan sekaligus sebagai penemu Ilmu Anatomi.

Karya besar dari seorang Ilmuwan bernama Andreas Vesalius dalam sebuah buku *De Humani Corporis Fabrica* yang diterbitkan tahun 1543 telah menjadikan pelajaran Ilmu Anatomi sebagai suatu disiplin ilmu objektif didasarkan observasi langsung serta prinsip - prinsip ilmiah sehingga Ilmu Anatomi menjadi dasar yang kuat bagi keseluruhan seni kedokteran.

Perhimpunan Anatomi Jerman pada tahun 1895 menyetujui sebuah daftar berisi sekitar 5000 istilah dalam bahasa latin yang dikenal sebagai “Basle Nomina Anatomica (BNA)”. Setelah mengalami revisi berulang kali, pada tahun 1933 Perhimpunan Anatomi Inggris-Irlandia kembali merevisi BNA dan sampai pada tahun 1983 “Nomina Anatomica” telah diterima dengan luas secara resmi serta alih bahasa istilah-istilah latin ke dalam bahasa-bahasa lokal telah diizinkan.

Dapat disimpulkan beberapa pengertian ilmu anatomi adalah:

1. Ilmu yang mempelajari struktur tubuh yaitu bentuk, bangunan, susunan serta hubungan alat-alat dan bagian-bagian dari tubuh manusia.
2. Ilmu yang mempelajari suatu bangun atau suatu bentuk dengan mengurai-uraikannya ke dalam bagian-bagian dari tubuh manusia.
3. Ilmu yang mempelajari susunan tubuh serta hubungan satu dengan lainnya dari tubuh manusia.

## 1.2 Cabang Ilmu Anatomi dan Struktur Anatomi Tubuh Manusia

Ilmu anatomi memiliki berbagai cabang atau sub disiplin ilmu, yaitu (Syarifuddin, 2006):

1. Anatomi Makroskopis - Merupakan ilmu yang mempelajari susunan tiap organ tubuh dengan jalan memotong dan memisah-misahkan bagian-bagian dari tubuh.
2. Anatomi Mikroskopis - Merupakan ilmu yang mempelajari susunan tiap organ tubuh dengan menggunakan mikroskop atau kaca pembesar, seperti mempelajari sel dan jaringan.
3. Anatomi Sistemik - Merupakan ilmu yang mempelajari tiap-tiap sistem yang terdapat dalam tubuh, misalnya sistem otot, sistem jantung, dan lain-lain.
4. Anatomi Regional - Merupakan ilmu yang mempelajari letak organ tubuh satu dan lainnya, misalnya mengetahui letak saraf, pembuluh darah dan lain-lain.
5. Anatomi Perkembangan (Embriologi) - Merupakan ilmu yang mempelajari anatomi perubahan sel, pada sel pertama kehamilan sampai anak lahir.
6. Anatomi Permukaan - Merupakan ilmu yang mempelajari permukaan tubuh manusia.
7. Anatomi Radiologi - Merupakan ilmu yang mempelajari anatomi dengan alat radiologi.
8. Anatomi Perbandingan - Merupakan ilmu yang mempelajari anatomi dengan membandingkan anatomi manusia dengan anatomi makhluk yang lain.
9. Anatomi Antropologi - Merupakan ilmu yang mempelajari anatomi melihat struktur yang berbeda garis keturunan dan bangsa.

Struktur anatomi tubuh manusia dibedakan menjadi dua bagian, yaitu (Syaifuddin, 2006):

1. Struktur anatomi makroskopis

Struktur yang relatif besar dan dapat diketahui tanpa bantuan alat penglihatan seperti mikroskop, pembagian anatomi ini dari atas ke bawah meliputi:

- a. Kepala.
- b. Leher.
- c. Badan (terdiri dari rongga dada, rongga perut dan rongga pelvis pelvis).
- d. Anggota gerak (terdiri dari anggota gerak atas dan anggota gerak bawah).

2. Struktur anatomis mikroskopis

Struktur yang tidak dapat dilihat tanpa bantuan alat, dengan batasan melihat struktur sel (mikroskopis cahaya), melihat tingkat molekul tingkat sitologi (mempelajari struktur sel), dan histologi (mempelajari jaringan) dengan mikroskop elektron. Struktur anatomis mikroskopis terdiri atas:

- a. Sel  
Bagian terkecil dari makhluk hidup (tubuh manusia) yang tidak bisa dilihat dengan mata dan hanya bisa dilihat dengan mikroskop.
- b. Jaringan  
Sekumpulan sel yang serupa bentuk, besar, dan pekerjaannya yang terikat menjadi satu.
- c. Organ  
Sekumpulan bermacam-macam jaringan yang menjadi satu dan mempunyai fungsi khusus.

3. Sistem

Susunan tubuh dari organ-organ yang mempunyai fungsi atau pekerjaan tertentu. Sistem dalam tubuh manusia terdiri atas:

- a. Sistem kerangka dan otot (muskuloskeletal).
- b. Sistem pernapasan (respirasi).
- c. Sistem jantung dan pembuluh darah (kardiovaskuler).

- d. Sistem pencernaan (digestif).
- e. Sistem endokrin.
- f. Sistem perkemihan (urinaria).
- g. Sistem reproduksi.
- h. Sistem penginderaan.
- i. Sistem kulit (integumen).
- j. Sistem persarafan (nervus).

## 1.3 Istilah Anatomi

### Posisi Anatomi

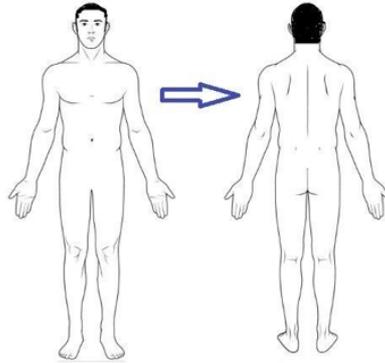
Adalah posisi saat tubuh berada dalam posisi tegak lurus dengan kepala menghadap ke depan, lengan di samping tubuh dengan telapak tangan terbuka ke depan, dan kedua kaki rapat menghadap ke depan.

#### 1. Posisi anatomi dengan aturan berdiri tegak

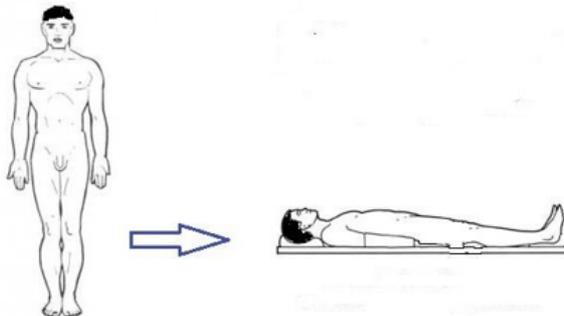
Posisi anatomi yang melaksanakan ketentuan berupa berdiri tegak pandangan wajah mengarah ke depan kemudian dua tungkai bawah lurus sejajar berdampingan serta dua kaki menghadap ke depan, dan dua lengan lurus di sisi-sisi samping dari tubuh serta dua telapak tangan menghadap ke depan. Di beberapa buku rujukan dikategorikan dengan Posisi "*Erect*".

#### 2. Posisi anatomi dengan aturan berbaring telentang

Posisi Anatomi yang juga dapat dianggap untuk melaksanakan ketentuan bersesuaian terhadap posisi anatomi dengan aturan berdiri tegak, sehingga dapat menyerupainya meskipun dalam situasi atau keadaan berbaring telentang merebahkan tubuh. Di beberapa buku rujukan dikategorikan dengan Posisi "*Supine*".



**Gambar 1.1:** Posisi Anatomi Dengan Aturan Berdiri Tegak

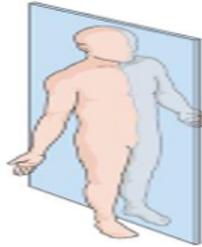


**Gambar 1.2:** Posisi Anatomi Dengan Aturan Berdiri Tegak - Berbaring Telentang

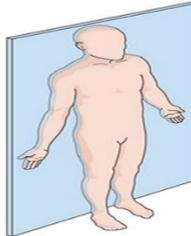
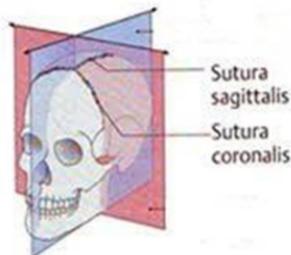
### **Bidang Anatomi**

Bidang anatomi atau *Planum Cardinale* adalah bidang yang melalui tubuh dalam posisi anatomi, secara berurutan terdiri dari (Ross, et al., 2011):

1. Planum Sagittalis / Sagittal Plane / Bidang Sagital  
Bidang imajiner vertikal melalui pertengahan tubuh serta sejajar dengan *Sutura Sagittalis Ossa Cranium*, membagi tubuh menjadi kanan dan kiri.

**1. Planum Sagittalis****Gambar 1.3:** Planum Sagittalis

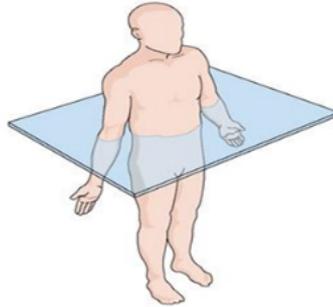
2. Planum Frontalis / Planum Coronalis / Frontal Plane / Coronal Plane / Bidang Frontal / Bidang Coronal.

**2. Planum Frontalis****Gambar 1.4:** Planum Frontalis**Gambar 1.5:** Sutura Sagittalis dan Sutura Coronalis

Bidang imajiner vertikal melalui tegak lurus *Planum Sagittalis* serta sejajar dengan *Sutura Coronalis Ossa Cranium*, membagi tubuh menjadi depan dan belakang

3. Planum Transversalis / Planum Horizontalis / Transverse Plane / Horizontal Plane / Bidang Transversal / Bidang Horizontal.

### 3. Planum Transversalis

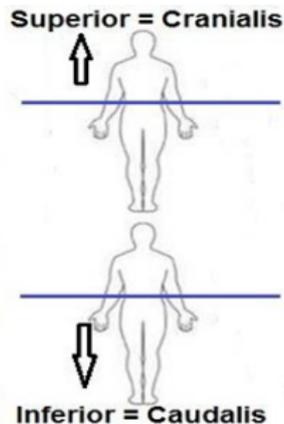


**Gambar 1.6:** Planum Transversalis

Bidang imajiner transversal melalui tegak lurus terhadap *Planum Sagittalis* dan *Planum Frontalis*, membagi tubuh menjadi atas dan bawah.

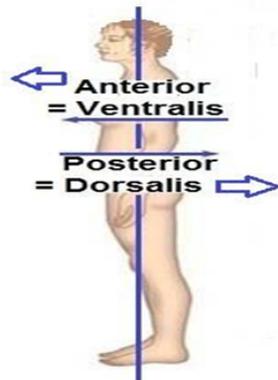
### Arah Anatomi

1. Superior (atas) atau kranial: lebih dekat pada kepala.  
Contoh: Mulut terletak superior terhadap dagu.
2. Inferior (bawah) atau kaudal: lebih dekat pada kaki.  
Contoh: Pesar terletak inferior terhadap payudara.



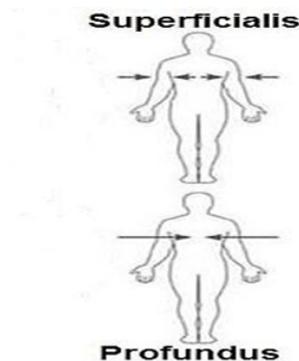
**Gambar 1.7:** Superior dan Inferior

3. Anterior (depan): lebih dekat ke depan.  
Contoh: Lambung terletak anterior terhadap limpa.
4. Posterior (belakang): lebih dekat ke belakang.  
Contoh: Jantung terletak posterior terhadap tulang rusuk.



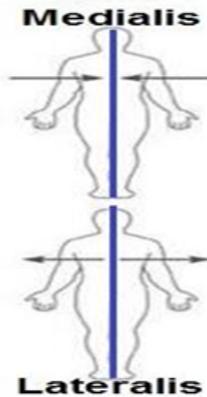
**Gambar 1.8:** Anterior dan Posterior

5. Superfisial: lebih dekat ke/di permukaan.  
Contoh: Otot kaki terletak superfisial dari tulangnya.
6. Profunda: lebih jauh dari permukaan.  
Contoh: Tulang hasta dan pengumpul terletak lebih *profunda* dari otot lengan bawah.



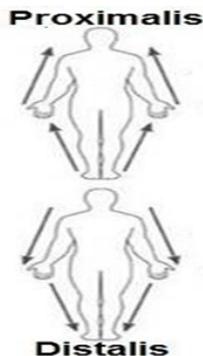
**Gambar 1.9:** Superficial dan Profundal

7. Medial (dalam): lebih dekat ke bidang median.  
Contoh: pangkal lengan terletak medial terhadap tubuh.
8. Lateral (luar): menjauhi bidang median.  
Contoh: Telinga terletak lateral terhadap mata.



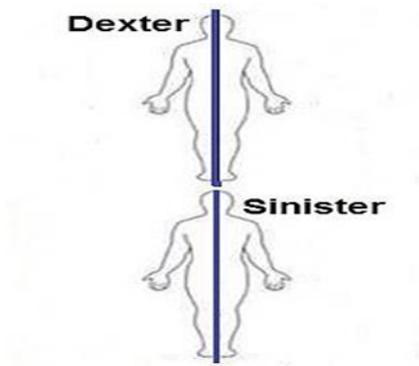
**Gambar 1.10:** Medial dan Lateral

9. Proksimal (dekat): lebih dekat dengan batang tubuh atau pangkal.  
Contoh: Siku terletak proksimal terhadap telapak tangan.
10. Distal (jauh): lebih jauh dari batang tubuh atau pangkal  
Contoh: Pergelangan tangan terletak distal terhadap pangkal lengan.



**Gambar 1.11:** Superior dan Inferior

11. Dekstra: bagian kanan
12. Sinistra: bagian kiri



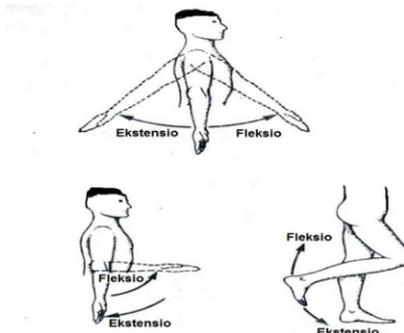
**Gambar 1.12:** Dekstra dan Sinistra

13. Ekstremitas: pembagian tubuh menjadi bagian anggota gerak bagian atas dan bawah

### Gerakan Anatomi

#### 1. Fleksi dan Ekstensi

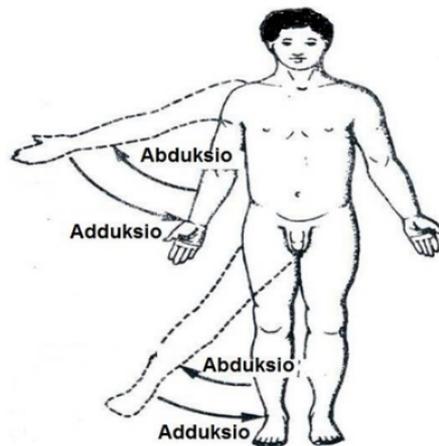
Fleksi merupakan gerak menekuk atau membengkokkan. Ekstensi merupakan gerakan untuk meluruskan. Contoh: gerakan ayunan lutut pada kegiatan gerak jalan. Gerakan ayunan ke depan merupakan (ante) fleksi dan ayunan ke belakang disebut (retro) fleksi/ekstensi. Ayunan ke belakang lebih lanjut disebut *hiperekstensi*.



**Gambar 1.13:** Fleksi dan Ekstensi Sendi Bahu, Siku, dan Lutut

## 2. Adduksi dan Abduksi

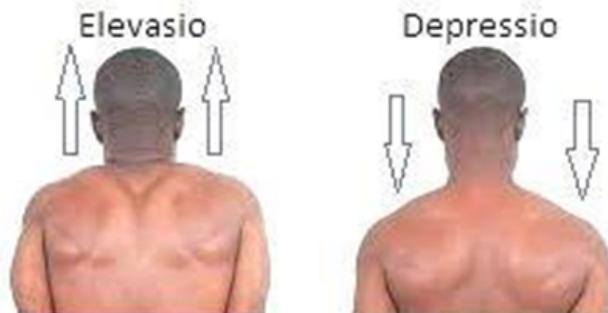
*Adduksi* adalah gerakan mendekati tubuh. *Abduksi* adalah gerakan menjauhi tubuh. Contoh: gerakan membuka tungkai kaki pada posisi istirahat di tempat merupakan gerakan abduksi (menjauhi tubuh). Bila kaki digerakkan kembali ke posisi siap merupakan gerakan *adduksi* (mendekati tubuh).



**Gambar 1.14:** Adduksi dan Abduksi Lengan, Tungkai

## 3. Elevasi dan Depresi

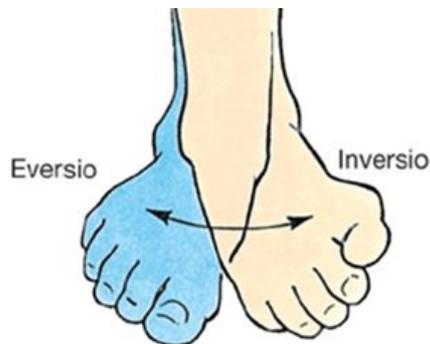
Elevasi merupakan gerakan mengangkat. Depresi merupakan gerakan menurunkan. Contohnya: Gerakan membuka mulut (elevasi) dan menutupnya (depresi) juga gerakan pundak ke atas (elevasi) dan ke bawah (depresi).



**Gambar 1.15:** Elevasi dan Depresi

#### 4. Inversi dan Eversi

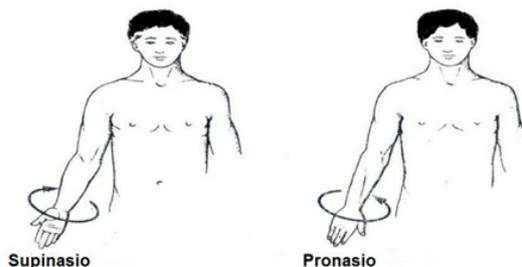
Inversi merupakan gerak memiringkan telapak kaki ke dalam tubuh. Eversi merupakan gerakan memiringkan telapak kaki ke luar. Perlu diketahui untuk istilah inversi dan eversi hanya untuk wilayah di pergelangan kaki.



**Gambar 1.16:** Inversi dan Eversi

#### 5. Supinasi dan Pronasi

*Supinasi* merupakan gerakan menengadahkan tangan. *Pronasi* merupakan gerakan menelungkupkan. Perlu diketahui istilah *supinasi* dan *pronasi* hanya digunakan untuk wilayah pergelangan tangan saja.



**Gambar 1.17:** Supinasi dan Pronasi

#### 6. Endorotasi dan Eksorotasi

*Endorotasi* adalah gerakan ke dalam pada sekeliling sumbu panjang tulang yang bersendi (rotasi). *Eksorotasi* adalah gerakan rotasi ke luar.



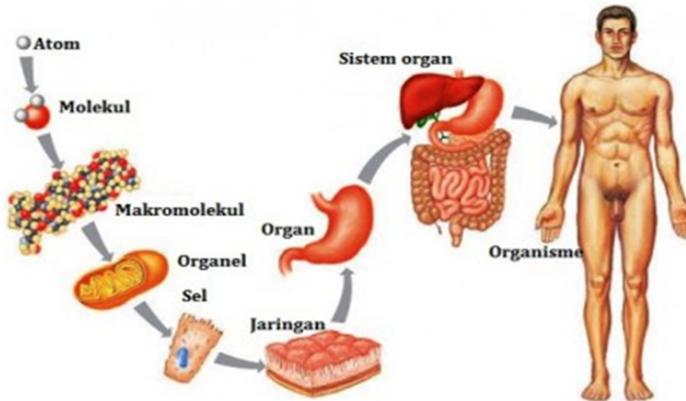
## Bab 2

# Struktur, Fungsi Sel, Jaringan, dan Sistem Tubuh Manusia

### 2.1 Pendahuluan

Seluruh organisme terdiri dari sel. Dalam hierarki biologis, sel ini merupakan kumpulan materi yang paling sederhana yang dapat hidup. Selain itu, terdapat beragam bentuk kehidupan yang berwujud sebagai organisme bersel tunggal. Organisme yang lebih kompleks, termasuk tumbuhan dan hewan, bersifat multiseluler; tubuhnya merupakan kerja sama dari berbagai jenis sel terspesialisasi yang tidak akan bertahan lama jika masing-masing berdiri sendiri.

Namun demikian, ketika sel ini disusun menjadi tingkat organisasi yang lebih tinggi, seperti jaringan dan organ sel dapat dipisahkan sebagai unit dasar dari struktur dan fungsi organisme. Setiap organisme tersusun dari salah satu dari dua jenis sel yang secara struktural berbeda: sel *prokariotik* dan sel *eukariotik*. Hanya bakteri dan *arkea* yang memiliki sel *prokariotik*. Protista, tumbuhan, fungi dan hewan mempunyai sel *eukariotik*.



**Gambar 2.1:** Tingkatan Organisasi Manusia

Ditinjau dari cara penyusunannya, tubuh kita terdiri dari berbagai tingkatan organisasi struktural dari yang terendah sampai yang teratas. Tingkatan organisasi pada tubuh manusia berdasarkan kajian mikroskopis ke makroskopis anatomi adalah sebagai berikut:

1. Tingkat kimia atau molekul, dibentuk oleh atom yang merupakan unit sangat terkecil membentuk molekul-molekul dengan ukuran sangat kompleks. Contoh: molekul kompleks protein.
2. Tingkat seluler, interaksi dari molekul-molekul yang membentuk organel tertentu yang akan membentuk sebuah sel. Sel adalah unit struktur dan fungsional yang paling dasar dari tubuh manusia.
3. Tingkat jaringan, kumpulan dari sel-sel yang sama atau mirip bentuknya bersama dengan zat interselulernya mempunyai fungsi khusus. Terdapat empat jaringan, yaitu jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot dan jaringan saraf.
4. Tingkat organ, keempat jaringan dalam tubuh bersatu membentuk organ, organ mempunyai fungsi tertentu, misalnya jantung untuk menyuplai darah, dan ginjal untuk membentuk urine.
5. Tingkat sistem, sistem adalah kumpulan organ-organ yang berhubungan secara anatomi maupun secara fisiologis untuk melakukan suatu fungsi yang lebih umum. Misalnya sistem pencernaan yang terdiri dari mulut, kelenjar ludah, gigi, lidah,

esofagus, lambung, usus kecil dan usus besar, hati, pankreas, kandung empedu dan anus.

6. Tingkat organisme, merupakan kesatuan seluruh sistem organ pada manusia yang akan mempertahankan kehidupan dan kesehatan.

## 2.2 Sel

Sel adalah unit struktural dan fungsional terkecil penyusun makhluk hidup dalam tingkatan organisasi kehidupan. Kata sel berasal dari bahasa Yunani, "Cellula" atau "Cella" yang artinya ruang kosong. Tubuh dari organisme terdiri dari sistem organ, sistem organ disusun oleh organ, organ dibentuk oleh jaringan, dan jaringan dibentuk dari sel.

Intinya setiap makhluk hidup memiliki sel yang menjadi penyusun dasar tubuh mereka. Sel mengatur dan mengolah semua informasi sehingga dapat menjalankan fungsi kehidupan pada makhluk hidup. Sel adalah unit pembentuk semua makhluk hidup.

Setiap sel adalah suatu sistem lengkap (self contained) yang melaksanakan berbagai fungsi yaitu:

1. membentuk dan menggunakan energi;
2. melakukan respirasi;
3. fungsi reproduksi, dan;
4. ekskresi.

Sel adalah satu unit dasar dari tubuh manusia dimana setiap organ merupakan agregasi/penyatuan dari berbagai macam sel yang dipersatukan satu sama lain oleh sokongan struktur-struktur interseluler. Setiap jenis sel dikhususkan untuk melakukan suatu fungsi tertentu. Misalnya sel darah merah yang jumlahnya 25 triliun berfungsi untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke jaringan. Di samping sel darah merah masih terdapat sekitar 75 triliun sel lain yang menyusun tubuh manusia, sehingga jumlah sel pada manusia sekitar 100 triliun sel. Walaupun banyak sel yang berbeda satu sama lainnya, tetapi umumnya seluruh sel mempunyai sifat-sifat dasar yang mirip satu sama lain. Oksigen yang terikat pada karbohidrat, lemak, atau protein pada setiap sel berguna untuk

melepaskan energi yang berfungsi merubah makanan menjadi energi, selanjutnya setiap sel melepaskan hasil akhir reaksinya ke cairan di sekitarnya.

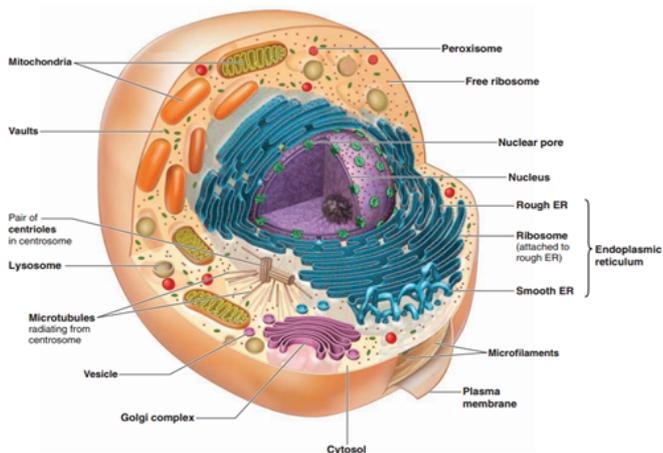
Hampir semua sel mempunyai kemampuan mengadakan reproduksi dan jika sel tertentu mengalami kerusakan maka sel sejenis yang lain akan beregenerasi. Secara umum sel-sel yang menyusun tubuh manusia mempunyai struktur dasar yang terdiri dari membran sel, protoplasma, dan inti sel (nukleus). Ketiganya mempunyai komposisi kimia yang terdiri dari air, elektrolit, protein, lemak dan karbohidrat. Sel mengandung materi genetik, yaitu materi penentu sifat-sifat makhluk hidup.

## 2.2.1 Struktur Sel

Sebuah sel yang khas, seperti yang terlihat oleh mikroskop cahaya, terdiri dari tiga komponen dasar: Membran sel, Sitoplasma dan Nukleus.

### 1. Membran Sel

Sel kita dikelilingi oleh membran sel (membran plasma) pada bagian terluar. Membran sel yang mengelilingi sel dan menjaganya mengatur apa yang masuk dan keluar sel. Membran sel memisahkan bagian dalam sel (sitoplasma) dan bagian luar. Integritas membran sel adalah sangat penting untuk kehidupan sel.



**Gambar 2.2:** Struktur Sel

Membran sel adalah suatu *bilayer* fosfolipid yang disebut sebagai permeabel atau permeabel selektif, karena dia melewatkan molekul-

molekul tertentu untuk masuk ke sel tetapi tidak untuk yang lainnya. Molekul fosfolipid memiliki bagian kepala yang bersifat polar dan ekor yang bersifat non polar. Protein yang ada pada membran sel memainkan penting untuk lewatnya suatu senyawa masuk ke sel.

## 2. Sitoplasma

Ini adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks dari sitoplasma adalah medium semi cair yang mengandung air dan berbagai tipe molekul yang terlarut dalam medium. Sitoplasma mengandung berbagai organel. Setiap tipe organel mempunyai fungsi yang spesifik.

Misalnya satu tipe organel mengangkut senyawa dan yang lainnya menghasilkan ATP untuk sel. Sel juga mempunyai *sitoskeleton*. Elemen dari *sitoskeleton* mempertahankan bentuk sel dan memungkinkan sel untuk bergerak. Beberapa sel dengan menggunakan *silia* dan *flagela* yang tersusun dari *mikrotubuli*.

## 3. Nukleus

Ini adalah struktur utama dalam sel manusia. Nukleus sangat penting karena menyimpan informasi genetik yang menentukan karakteristik dari sel tubuh dan fungsi metabolik. Komposisi kimia yang unik dari setiap DNA seseorang adalah dasar untuk sidik jari DNA. Semua sel mempunyai paling sedikit satu nukleus. Sel lainnya seperti sel otot rangka mempunyai nukleus lebih dari satu.

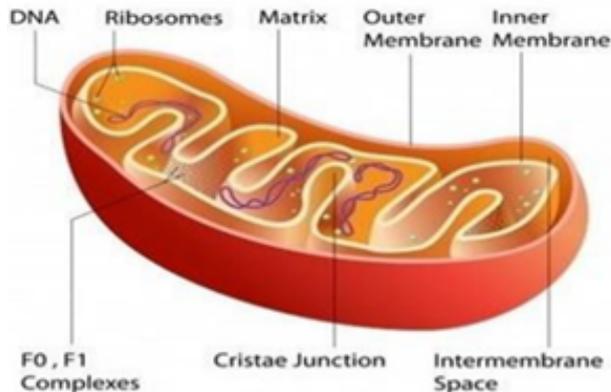
Nukleus memiliki ukuran yang relatif besar. Bodi berbentuk bulat yang umumnya terletak dekat dengan pusat sel, nukleus mengandung material genetik dari sel. Dia ditutupi oleh lapisan ganda membran nukleat yang memisahkan sitoplasma dari *nukleoplasma* (bagian cairan yang ada dalam nukleus). Nukleolus berada di dalam nukleus. Fungsi nukleolus adalah untuk menyalin DNA menjadi RNA ribosom dan merakit rRNA penting karena rRNA membuat ribosom yang bertanggung jawab untuk sintesis protein dalam sel.

## 2.2.2 Organel Sitoplasma

Organel sitoplasma adalah organel kecil yang ada dalam sitoplasma sel. Setiap tipe organel mempunyai struktur dan peranan yang spesifik dalam fungsi sel.

### Mitokondria

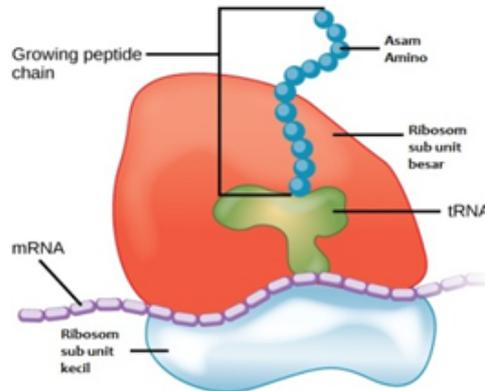
*Mitokondria* adalah tempat respirasi utama untuk aerobik. Memiliki struktur oval yang memanjang. Membran bagian dalam terlipat untuk membentuk laci-laci kecil yang disebut *cristae* yang mana ter proyeksikan ke dalam matriks. *Mitokondria* sering disebut sebagai *power house* dan membantu untuk menghasilkan energi untuk sel. Sel yang memerlukan sedikit energi untuk melaksanakan fungsinya seperti sel lemak memiliki sedikit *mitokondria*, sedangkan sel yang menggunakan energi yang banyak seperti sel otot dan hati memiliki banyak *mitokondria*.



**Gambar 2.3:** Mitokondria

### Ribosom

Ribosom terdiri dari dua subunit, subunit besar dan subunit kecil. Setiap subunit memiliki protein dan rRNA. Ribosom ditemukan secara bebas dalam sitoplasma. Ribosom melekat pada permukaan luar retikulum endoplasma. Ribosom terdiri dari asam *ribonukleat* yang berfungsi dalam sintesis protein dalam sel.



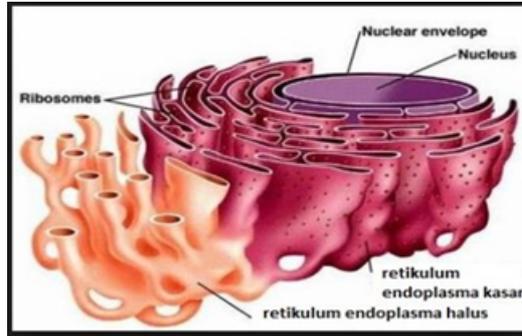
**Gambar 2.3:** Ribosom

### Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma adalah sistem kompleks dari kanal membran yang membentang di seluruh sitoplasma. Membran yang saling berhubungan membentuk kantung datar yang berisi cairan dan kanal *tubular* yang disebut *cisternae*. Membran dihubungkan ke lapisan terluar membran *nuklear*, ke lapisan dalam membran sel, dan organel-organel tertentu lainnya.

Retikulum endoplasma memberikan jalur untuk mengangkut material dari satu sel ke yang lainnya. Beberapa membran dari retikulum endoplasma memiliki ribosom *granular* yang melekat pada permukaan terluar yang disebut *Rough Endoplasmic Reticulum* (RER) yang berfungsi untuk sintesis dan transpor protein yang dibuat oleh ribosom melalui sitoplasma ke aparatus *Golgi*.

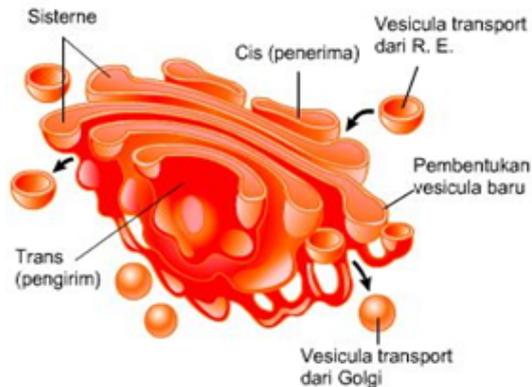
Jadi RER khususnya dikembangkan dalam sel yang aktif dalam sintesis protein seperti *Russell's bodies* dari sel plasma, *Granul Nissl* dari sel saraf, dan sel *acinar* pankreas. Bagian lainnya yang tidak memiliki ribosom dan tampak halus disebut *Smooth Endoplasmic Reticulum* (SER) dan berfungsi sebagai tempat untuk sintesis lipid, steroid (termasuk hormon seks). Banyak ditemukan pada sel *Leydig* dan sel *koreks* adrenal. Dalam otot rangka dan otot jantung, SER termodifikasi untuk membentuk retikulum sarkoplasma yang mana terlibat dalam pelepasan ion kalsium selama kontraksi otot.



**Gambar 2.4:** Retikulum Endoplasma

### Aparatus Golgi

Aparatus *golgi* dinamai sesuai dengan penemunya yaitu *Camillo Golgi* yang menemukan apparatus tersebut dalam sel di tahun 1898. Organel ini tampak sebagai tumpukan kantong membran yang datar yang biasanya terletak dekat nukleus dan ter hubungkan ke retikulum endoplasma. Aparatus *Golgi* khususnya dikembangkan dalam sel kelenjar eksokrin.

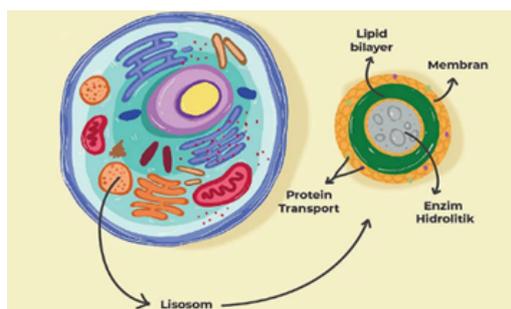


**Gambar 2.5:** Aparatus Golgi

Organel ini memodifikasi dan menyortir protein yang disintesis pada RER dan mengemasnya ke dalam *vesikel sekretori* untuk dilepaskan ke luar sel. Seperti *vesikel* yang ditemukan dalam kelenjar endokrin tertentu, dimana protein hormon dilepaskan ke dalam cairan ekstra sel untuk memodifikasi aktivitas sel lainnya. *Vesikel* lainnya yang meninggalkan aparatus *Golgi* adalah lisosom.

## Lisosom

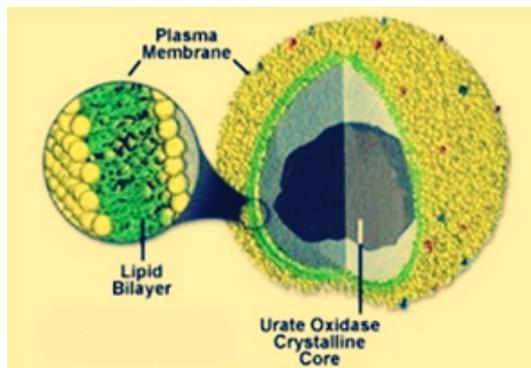
Lisosom dibentuk oleh aparatus *golgi*. Lisosom adalah *vesikel* kecil yang mengandung enzim pencernaan hidrolitik. Enzim digunakan untuk mencerna; bakteri yang masuk ke dalam sel, bagian sel yang perlu pergantian, dan keseluruhan sel yang sudah rusak. Lisosom utamanya banyak ditemukan dalam sel yang terlibat dalam aktivitas *fagositik*, seperti *neutrofil* dan *makrofag*.



Gambar 2.6: Lisosom

## Peroksisom

Peroksisom adalah membran yang terikat *vesikel* yang bentuknya lebih kecil dari lisosom sehingga juga dikenal sebagai mikrobodi, yang banyak terdapat pada sel epitel *hepatosit* dan *tubular*. Seperti halnya *mitokondria*, peroksisom mengonsumsi oksigen molekuler walaupun dalam jumlah yang lebih kecil. Oksigen ini tidak digunakan dalam konversi energi menjadi ATP. Peroksisom mengandung enzim *oxidases* yang mengoksidasi asam lemak.



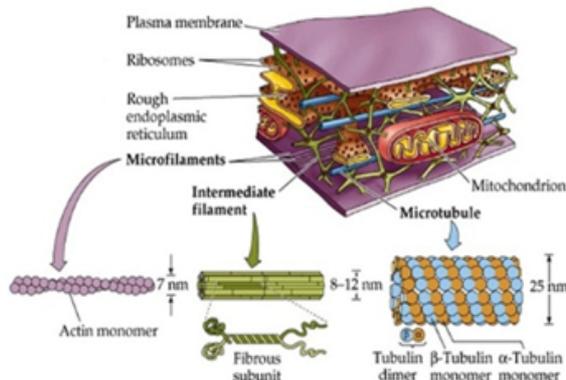
Gambar 2.7: Peroxisom

Hasil dari hidrolisis ini adalah hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Peroksisom juga mengandung enzim katalase, yang bereaksi pada hidrogen peroksida membebaskan oksigen dan air. Fungsi enzim peroksisom adalah untuk detoksifikasi obat, alkohol, dan toksin potensial lainnya. Sel yang aktif dalam detoksifikasi seperti sel hati dan ginjal memiliki banyak peroksisom karena organ-organ ini membantu untuk membersihkan darah.

### Sitoskeleton

*Sitoskeleton* adalah sistem kompleks dari serat yang mempertahankan struktur dari sel dan memungkinkannya untuk mengubah bentuk dan bergerak. *Sitoskeleton* juga memainkan peranan penting dalam interaksi otot. *Sitoskeleton* tersusun dari protein *mikrofilamen* dan *mikrotubuli*. *Mikrofilamen* berbentuk panjang, batang ramping dari protein yang mendukung penonjolan kecil dari membran sel yang disebut *mikrovili*.

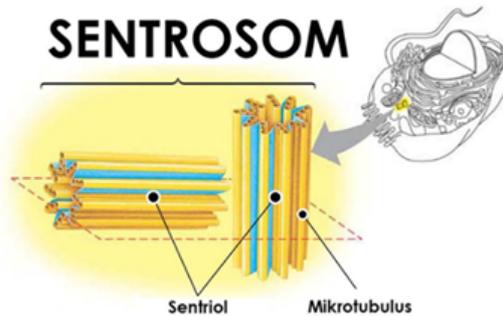
*Mikrotubuli* adalah silinder tipis lebih besar dari *mikrofilamen*, tersusun dari protein *tubuli*. *Mikrotubuli* juga ditemukan dalam *sentriol*, *silia*, dan *flagela*. *Silia* dan *flagela* terdapat di permukaan sel tertentu (spermatozoa, mukosa respiratori dan tuba fallopi).



**Gambar 2.8:** Sitoskeleton

### Sentriol

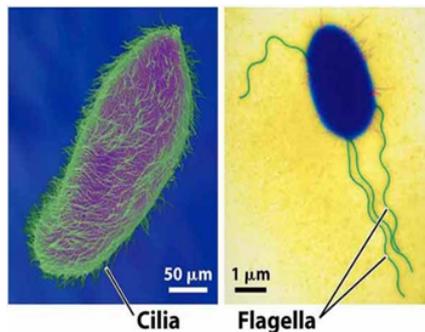
*Sentriol* adalah struktur berbentuk silinder yang terdiri dari sembilan triplet *mikrotubuli* dan memainkan peranan penting dalam pembelahan sel untuk membentuk *spindel* dan *asters*. Sepasang *sentriol* dapat ditemukan di dalam struktur yang disebut *sentrosom*.



**Gambar 2.9:** Sentriol

### Silia dan Flagela

*Silia* dan *flagela* adalah penonjolan dari sel yang dapat bergerak baik seperti gelombang, cambuk, atau kaku. *Silia* lebih pendek dari *flagela*. Sel yang memiliki organel ini dapat bergerak sendiri atau memindahkan material sepanjang permukaan sel. Misalnya sel sperma, bergerak berenang dengan *flagela* untuk membawa material genetik ke sel telur. Sel pada dinding saluran pernapasan kita adalah bersilia. *Silia* menyapu kotoran yang terperangkap dalam *mukus* kembali kerongkongan dan aksi ini membantu menjaga paru-paru kita tetap bersih.

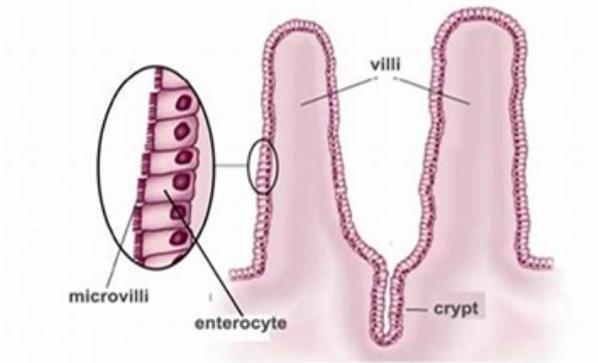


**Gambar 2.10:** Silia dan Flagela

Dalam tuba uterus perempuan, sel bersilia menggerakkan ovum ke uterus, dimana ovum yang dibuahi tumbuh dan berkembang. *Silia* menggerakkan partikel kecil melintasi permukaan sel, sedangkan *flagela* menggerakkan seluruh sel. Keduanya *silia* dan *flagela* mengandung *mikrotubuli* yang berasal dari *sentriol*.

## Mikrovili

Mikrovili adalah perpanjangan dari membran sel yang bentuknya lebih kecil dan jumlahnya lebih banyak dari silia. Mikrovili tidak bergerak seperti halnya silia dan flagela, tetapi meningkatkan luas permukaan membran sel sehingga menyerap material lebih banyak. Mikrovili banyak ditemukan pada permukaan bebas dari sel dinding usus, ginjal dan area absorpsi lainnya. Normalnya setiap sel memiliki banyak mikrovili.



**Gambar 2.11:** Mikrovili

### 2.2.3 Teori-Teori Tentang Sel

Pada awalnya sel digambarkan pada tahun 1665 oleh seorang ilmuwan Inggris Robert Hooke yang telah meneliti irisan tipis gabus melalui mikroskop yang dirancangnya sendiri. Kata sel berasal dari kata bahasa Latin *cellula* yang berarti rongga/ruangan.

Pada tahun 1835, sebelum teori sel menjadi lengkap, Jan Evangelista Purkyne melakukan pengamatan terhadap granula pada tanaman melalui mikroskop. Teori sel kemudian dikembangkan pada tahun 1839 oleh Matthias Jakob Schleiden dan Theodor Schwann yang mengatakan bahwa semua makhluk hidup atau organisme tersusun dari satu sel tunggal, yang disebut uniseluler, atau lebih, yang disebut multiseluler. Semua sel berasal dari sel yang telah ada sebelumnya. Di dalam sel terjadi fungsi-fungsi vital demi kelangsungan hidup organisme dan terdapat informasi mengenai regulasi fungsi tersebut yang dapat diteruskan pada generasi sel berikutnya.

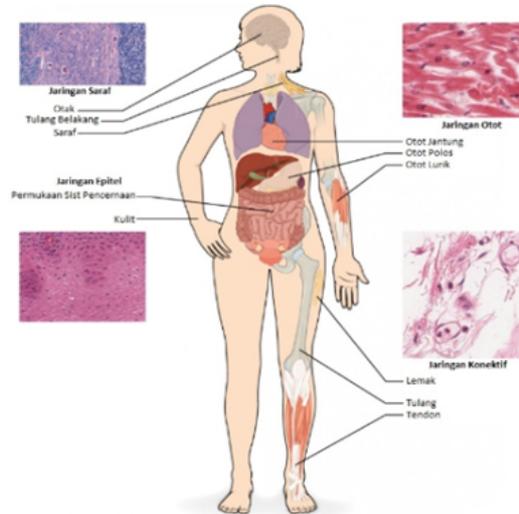
1. Robert Hooke (Inggris, 1665) meneliti sayatan gabus di bawah mikroskop. Hasil pengamatannya ditemukan rongga-rongga yang disebut sel (cellula).
2. Hanstein (1880) menyatakan bahwa sel tidak hanya berarti cytos (tempat yang berongga), tetapi juga berarti cella (kantong yang berisi).
3. Felix Durjadin (Prancis, 1835) meneliti beberapa jenis sel hidup dan menemukan isi dalam, rongga sel tersebut yang penyusunnya disebut "Sarcode".
4. Johannes Purkinje (1787-1869) mengadakan perubahan nama Sarcode menjadi Protoplasma.
5. Matthias Schleiden (ahli botani) dan Theodore Schwann (ahli zoologi) tahun 1838 menemukan adanya kesamaan yang terdapat pada struktur tumbuhan dan hewan. Mereka mengajukan konsep bahwa makhluk hidup terdiri atas sel. Konsep yang diajukan tersebut menunjukkan bahwa sel merupakan satuan struktural makhluk hidup.
6. Robert Brown (Skotlandia, 1831) menemukan benda kecil yang melayang-layang pada protoplasma yaitu inti (nukleus).
7. Max Shultze (1825-1874) ahli anatomi menyatakan sel merupakan kesatuan fungsional makhluk hidup.
8. Rudolf Virchow (1858) menyatakan bahwa setiap sel berasal dari sel sebelumnya (omnis celulla ex celulla).

## 2.3 Jaringan

Setelah sel, jaringan adalah tingkat berikutnya dari organisasi dalam tubuh manusia. Istilah jaringan digunakan untuk menggambarkan sekelompok sel dengan bentuk dan fungsi yang sama yang ditemukan di dalam tubuh manusia. Sel-sel dalam jaringan biasanya berasal embrionik yang sama.

Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa sel-sel dalam suatu jaringan memiliki ciri-ciri morfologis dan tersusun dalam pola teratur untuk melaksanakan fungsi-fungsi fisiologis jaringan tersebut. Meskipun terdapat banyak jenis sel dalam tubuh manusia, secara umum sel-sel tersebut terbagi

menjadi empat kelompok kategori jaringan yaitu: jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf.



**Gambar 2.12:** Jaringan Tubuh Manusia

### Jaringan Epitel

Epitel merupakan sel yang menutupi permukaan tubuh, antara lain pembuluh darah dan sel saluran napas. Jaringan epitel dibagi atas dua golongan utama, masing-masing terdiri atas berbagai varietas. Semua epitel terletak di atas bahan homogen yang disebut membran alas (dasar).

Jenis-jenis jaringan epitel, yaitu:

1. Epitel sederhana, golongan ini hanya terdiri satu lapis sel dan dapat dibagi lagi dalam tiga golongan varietas.
2. Epitel gepeng, terdiri atas lembaran tipis halus tersusun berdempetan, seperti pada lukisan mosaik atau seperti pada lantai. Sel ini dijumpai di tempat-tempat yang permukaannya sangat halus, seperti pada selaput jantung (selaput serosa, lapisan pembuluh darah, dan limfa).
3. Epitel silinder, dibentuk oleh satu lapisan sel dan melapisi saluran dari sebagian besar kelenjar, hampir seluruh saluran pencernaan yang diselingi sel bentuk cangkir di antaranya dan juga melapisi beberapa bagian dari saluran *urogenital*.

4. Epitel berambut, sel ini dapat dijumpai pada saluran pernapasan serta cabang-cabangnya, seperti pada *sinus frontalis* dan *sinus maxilaris*. Sel ini juga melapisi saluran telur dan sebagian dari uterus dan ventrikel otak.
5. Epitel majemuk, terdiri lebih dari satu lapis sel. Epitel berlapis membentuk lapisan *epidermal* (kulit ari) pada kulit.

Fungsi jaringan epitel yaitu untuk melindungi organ yang dilapisinya, sebagai organ sekresi, dan penyerapan. Jaringan epitel menghindarkan kerusakan jaringan di bawahnya, hilangnya cairan dari lapisan ini, dan juga masuknya cairan ke dalam struktur yang ditutupi kulit. Mikroorganisme tidak dapat menembus kulit sehat, tetapi mereka dapat lewat kulit yang terluka.

### **Jaringan Ikat (Konektif)**

Sesuai dengan namanya, jaringan ikat adalah jaringan yang berfungsi mengikat atau menggabungkan jaringan yang satu dengan jaringan lainnya. Jaringan ini terdiri dari sel dan molekul yang berfungsi merekatkan jaringan lainnya. Susunan sel-sel jaringan ikat agak renggang dan mengandung banyak pembuluh darah kecuali pada jaringan ikat tulang rawan.

Fungsi utama jaringan ikat adalah sebagai pelindung (proteksi), penunjang, dan mengikat berbagai jaringan dan organ. Jaringan ikat juga berfungsi untuk menyimpan lemak serta menghancurkan bakteri dan sel-sel yang sudah mati. Contoh jaringan ikat adalah jaringan darah, jaringan tulang, dan jaringan lemak. Jaringan ikat berada di seluruh tubuh dan dicirikan dengan matriks antar sel yang melimpah namun sel yang relatif sedikit. Sel jaringan ikat mampu bereproduksi tetapi tidak secepat sel epitel. Sebagian besar jaringan ikat memiliki suplai darah yang baik tetapi beberapa mungkin juga tidak.

Ada banyak jenis sel ditemukan dalam jaringan ikat, namun tiga yang paling umum adalah *fibroblas*, *makrofag*, dan sel *mast*. Jaringan ikat sendiri bisa dibagi lagi menjadi beberapa jenis, seperti: jaringan ikat longgar, jaringan adiposa, jaringan ikat *fibrosa* padat, jaringan ikat elastis, tulang rawan, jaringan *osseous* (tulang), dan darah.

### **Jaringan Otot**

Jaringan otot adalah jaringan yang terdiri atas serabut-serabut otot yang tersusun dari sel-sel otot yang mampu berkontraksi dan berelaksasi sehingga dapat menggerakkan tubuh. Jaringan ini sangat seluler dan disuplai oleh pembuluh

darah. Jaringan otot juga berfungsi untuk membantu memompa darah dan mendorong makanan melalui saluran cerna. Sel-sel pada jaringan otot berbentuk panjang dan ramping sehingga kadang-kadang disebut sebagai serat otot.

Biasanya, jaringan otot tersusun dalam lapisan yang dikelilingi oleh jaringan ikat. Pada jaringan otot terdapat protein kontraktile yang disebut *aktin* dan *miosin* yang memungkinkan mereka untuk berkontraksi. Jaringan otot terdapat di seluruh tubuh berfungsi sebagai alat gerak aktif bersama dengan tulang.

Berdasarkan fungsi dan morfologinya jaringan otot dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Jaringan otot rangka

Ini adalah otot lurik yang berfungsi menggerakkan rangka. Serabut otot rangka berbentuk silindris, berinti banyak, lurik, dan berkontraksi di bawah kendali.

2. Jaringan otot polos

Sel otot polos berbentuk gelendong, memiliki nukleus tunggal yang terletak di tengah, dan tidak memiliki serat-serat lurik (polos). Mereka disebut otot tak sadar, seperti memindahkan makanan melalui saluran pencernaan.

3. Jaringan otot jantung

Sel otot jantung memiliki serat bercabang, satu nukleus per sel, lurik, dan diskus interkalasi. Kontraksi pada jaringan otot jantung tidak berada di bawah kendali atau terjadi secara otomatis.

## **Jaringan Saraf**

Sel dalam jaringan saraf yang menghasilkan dan mengonduksikan impuls disebut neuron (sel saraf). Sel ini memiliki 3 bagian utama: dendrit, badan sel, dan satu akson. Neuron adalah sel yang sangat panjang sehingga seperti sel otot, jaringan ini disebut sebagai serat saraf. Penjelasan lebih detail tentang neuron akan dibahas pada sistem saraf. Jaringan saraf membentuk otak, sumsum tulang belakang, dan berbagai saraf tubuh. Jaringan saraf mengontrol dan mengkoordinasikan aktivitas tubuh.

Jaringan ini memungkinkan kita untuk memahami lingkungan dan beradaptasi terhadap perubahan kondisi. Jaringan ini mengkoordinasikan otot rangka kita, khususnya kepekaan pada penglihatan, rasa, bau, dan pendengaran. Jaringan ini

mengontrol emosi dan kemampuan penalaran kita. Ini memungkinkan kita belajar melalui proses memori.

Jaringan saraf juga meliputi sel yang tidak dapat mentransmisikan impuls tetapi mendukung aktivitas neuron yaitu sel *glial*, bentuk gabungan yang disebut neuroglia, yaitu sel yang terikat bersama neuron dan melindungi neuron. Jaringan saraf terdiri dari sel saraf yang disebut neuron dan beberapa sel khusus ditemukan hanya dalam sistem saraf. Sistem saraf memiliki dua divisi: sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi.

## 2.4 Organ

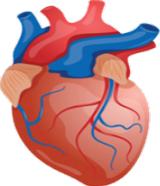
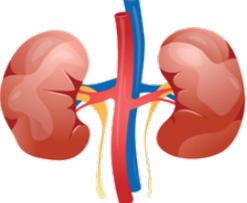
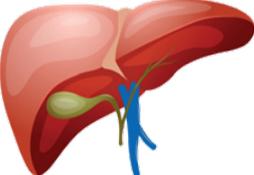
Manusia memiliki organ tubuh yang saling mendukung dan bekerja sama agar tubuh tetap berfungsi sebagaimana mestinya. Dimana organ ini sangat memengaruhi kesehatan tubuh manusia. Maka dari itu, penting untuk mengetahui fungsi organ tubuh manusia dan cara kerjanya. Organ adalah kumpulan jaringan yang memiliki satu fungsi atau lebih.

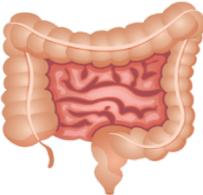
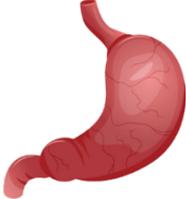
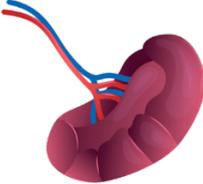
Secara umum, organ tubuh terbagi menjadi organ dalam dan organ luar. Organ dalam sendiri terdiri dari jantung, lambung, ginjal, dan usus, sedangkan contoh organ luar adalah hidung dan kulit. Sistem organ tubuh manusia terbagi menjadi berbagai jenis dan saling bekerja sama. Bila salah satu organ tidak berfungsi, akan berdampak pada organ tubuh lainnya.

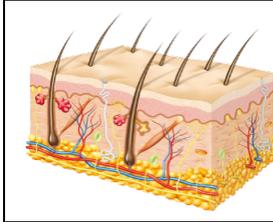
Organ (dari bahasa Latin "organum" yang berarti instrumen atau alat) adalah kumpulan jaringan yang secara struktural membentuk unit fungsional khusus untuk melakukan fungsi tertentu dalam tubuh. Tubuh manusia, terdiri dari sel-sel hidup dan ekstra-sel dan diatur ke dalam jaringan, organ, dan sistem. Untuk bertahan hidup dan bereproduksi, tubuh manusia bergantung pada organ tubuh internal utama untuk melakukan fungsi vital tertentu. Ketika dua atau lebih organ bersama dengan struktur terkaitnya bekerja bersama, mereka menjadi bagian komponen dari sistem tubuh.

Beberapa organ internal yang mudah dikenali dan fungsi yang dijalankannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1:** Organ dan Fungsinya

| Organ   | Fungsi  |
|---|---|
|    | <p>Jantung yang terletak di tengah-tengah dada adalah organ utama dari sistem peredaran darah. Fungsi jantung adalah memompa darah melalui pembuluh darah dengan kontraksi berirama yang berulang, bertujuan untuk menjaga darah agar tetap mengalir ke seluruh tubuh. Darah membawa zat ke sel yang mereka butuhkan dan juga membawa zat yang tidak dibutuhkan dari sel.</p> |
|    | <p>Otak adalah pusat kendali sistem saraf yang terletak di dalam tengkorak kepala. Fungsinya meliputi kontrol dan koordinasi otot, penerimaan dan integrasi sensoris, produksi ucapan, penyimpanan memori, dan elaborasi pikiran dan emosi.</p>   |
|   | <p>Ginjal adalah sepasang organ berbentuk kacang yang terletak di bagian belakang perut di kedua sisi perut. Fungsi ginjal adalah membersihkan darah dari racun dan mengubah limbah menjadi urine. Setiap ginjal memiliki berat sekitar 160 gram. Kedua ginjal bersama-sama menyaring 200 liter cairan setiap 24 jam ke darah.</p>  |
|  | <p>Hati terletak di sisi kanan badan. Organ hati memiliki banyak fungsi, termasuk menyaring darah, mengeluarkan empedu untuk memecah lemak yang dibutuhkan pencernaan, mengubah amonia menjadi urea, menyaring zat berbahaya dan mempertahankan tingkat glukosa yang tepat dalam darah.</p>   |
|  | <p>Paru-paru terletak di kedua sisi dada bagian atas. Paru-paru adalah dua struktur berbentuk kerucut seperti spons yang memenuhi sebagian besar rongga dada. Fungsi penting paru-paru adalah untuk menyediakan oksigen dari udara yang dihirup ke aliran darah dan untuk menghembuskan karbon dioksida.</p>  |

|   |   |
|---|---|
|    | <p>Usus terletak di antara lambung dan anus dan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu: usus kecil dan usus besar. Fungsi usus kecil atau usus halus adalah untuk menyerap sebagian besar makanan yang dicerna. Dan usus besar bertanggung jawab untuk penyerapan air dan ekskresi bahan limbah/tinja padat.</p>  |
|    | <p>Lambung adalah kantong berotot, elastis, berbentuk buah pir, terletak melintang di perut bagian atas di sisi kiri badan. Bagian atas lambung terhubung ke katup yang disebut "sfingter esofagus" (otot di ujung kerongkongan). Tujuan utama lambung adalah mencerna makanan melalui produksi cairan lambung yang memecah, mencampur dan mengaduk makanan menjadi lebih halus.</p>                          |
|    | <p>Kandung kemih adalah organ berongga berbentuk segitiga yang terletak di perut bagian bawah. Fungsi kandung kemih adalah menampung cairan urine yang dikirim dari ginjal dan akan disimpan sementara hingga siap dikeluarkan saat buang air kecil. Kandung kemih dapat menampung urine sebanyak 400 - 600 ml.</p>   |
|   | <p>Pankreas adalah organ memanjang dan meruncing yang terletak di bagian belakang ujung lambung. Pankreas berfungsi sebagai kelenjar campuran atau heterokrin, yaitu memiliki fungsi endokrin 1% dan eksokrin 99%: Fungsi eksokrin, yaitu menghasilkan zat (enzim) yang membantu pencernaan. Fungsi endokrin, yaitu mengirimkan hormon yang mengontrol jumlah gula dalam aliran darah.</p>                    |
|  | <p>Limpa terletak di sisi kiri atas lambung. Meskipun manusia bisa hidup tanpa limpa, tetapi fungsi limpa sangat penting untuk sistem kekebalan tubuh: Limpa melawan kuman yang menyerang dalam darah (mengandung sel darah putih yang melawan infeksi), mengontrol tingkat sel darah (sel darah putih, sel darah merah dan trombosit), menyaring darah dan menghilangkan sel darah merah tua atau rusak.</p> |
|  | <p>Kelenjar tiroid adalah organ berbentuk kupu-kupu yang terletak di bagian depan tenggorokan. Fungsi kelenjar tiroid ialah menghasilkan hormon yang bermanfaat mengatur metabolisme dalam tubuh yang mengendalikan fungsi jantung serta tekanan darah, otot dan pencernaan, perkembangan otak dan pemeliharaan tulang.</p>   |

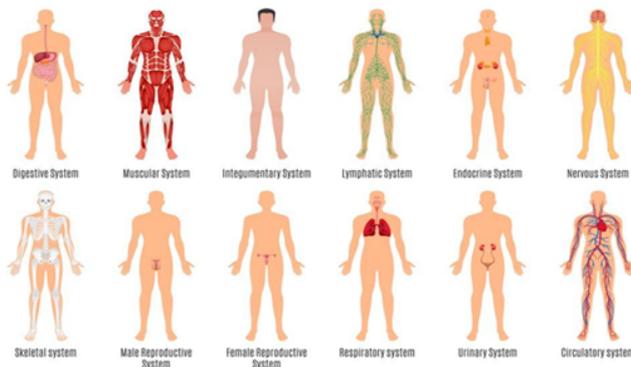


Kulit adalah organ terbesar dari tubuh. Kulit dan turunannya (rambut, kuku, keringat, dan kelenjar minyak) membentuk sistem integumen. Salah satu fungsi utama kulit adalah perlindungan. Ini melindungi tubuh dari faktor eksternal seperti melindungi dari bakteri, bahan kimia, mengatur suhu tubuh dan memungkinkan sensasi sentuhan (taktil).

Membangun pemahaman kita tentang organ tubuh internal, bagaimana itu saling berkaitan dan mengapa mereka bekerja bersama sebagai sistem organ tubuh adalah proses yang kompleks. Hal ini berguna untuk mengeksplorasi seperti apa organ-organ dalam tubuh manusia dan di mana mereka berada untuk memahami fungsi spesifik masing-masing dan bagaimana organ-organ itu berkontribusi untuk menjaga tubuh tetap hidup dan sehat.

## 2.5 Sistem Organ

Kelompok organ terorganisir dalam sistem tubuh. Setiap sistem merupakan kumpulan organ yang melakukan fungsi yang terkait dan berinteraksi untuk menyelesaikan aktivitas umum yang sangat penting untuk kelangsungan hidup tubuh secara keseluruhan. Contoh, sistem pencernaan terdiri dari mulut, kelenjar saliva, faring, esofagus, lambung, pankreas, hati, kantung empedu, usus kecil dan usus besar. Organ pencernaan ini bekerja sama untuk memecahkan makanan menjadi molekul yang lebih kecil yang dapat diserap ke dalam darah untuk didistribusikan ke seluruh sel.



**Gambar 2.13:** Sistem Organ Tubuh Manusia

Setiap organ dari sistem melakukan bagian dari pekerjaan yang lebih besar. Sebuah jaringan tunggal saja tidak dapat melakukan semua pekerjaan yang diperlukan untuk membuat anda hidup dan sehat. Dua atau lebih jaringan yang bekerja bersama-sama dapat melakukan lebih banyak organ-organ yang terintegrasi dan saling bekerja sama membentuk suatu unit fungsi sistem.

Dalam tubuh terdapat beberapa sistem yang saling berhubungan sehingga membuat tubuh menjadi sehat. Adapun beberapa sistem organ yang dimiliki oleh manusia antara lain: Sistem *integument*, Sistem *skeletal* (Rangka), Sistem *muskular* (Otot), Sistem *persarafan*, Sistem endokrin, Sistem kardiovaskular, Sistem limfatik, Sistem pernapasan, Sistem pencernaan, Sistem perkemihan dan Sistem reproduksi.



# **Bab 3**

## **Prinsip-Prinsip Fisika Kesehatan Dalam Keperawatan**

### **3.1 Pendahuluan**

Abad ke-20 ditandai dengan perkembangan yang luar biasa di bidang ilmu dan teknologi, termasuk dalam disiplin ilmu dan teknologi kedokteran serta kesehatan. Kemajuan penting dalam ilmu dan teknologi ini memberikan kontribusi yang sangat berharga dalam diagnosis dan pengobatan berbagai penyakit, termasuk penyakit-penyakit yang menjadi lebih penting secara epidemiologi sebagai akibat dari pembangunan di segala bidang yang telah meningkatkan kondisi sosial ekonomi masyarakat.

Penggunaan isotop radioaktif dalam kedokteran dimulai pada tahun 1901 oleh Henri Danlos yang menggunakan radium untuk mengobati penyakit tuberkulosis pada kulit. Namun, Bapak Ilmu Kedokteran Nuklir dianggap adalah George C. De Hevesy yang menerapkan prinsip perunut dengan menggunakan radioisotop alami Pb-212.

Dengan ditemukannya radioisotop buatan, radioisotop alami tidak lagi digunakan. Radioisotop buatan yang banyak digunakan pada awal perkembangan kedokteran nuklir adalah I-131. Namun, penggunaannya sekarang telah tergantikan oleh Tc-99m karena sifatnya yang ideal dalam hal

proteksi radiasi dan pembentukan citra yang mudah dan relatif murah. Meskipun begitu, I-131 masih sangat dibutuhkan untuk diagnosis dan pengobatan, terutama untuk kanker kelenjar tiroid (Asriwati, 2017).

Penerapan Ilmu Fisika di dalam kesehatan alat-alat medis kebanyakan menggunakan prinsip fisika, dan yang paling banyak digunakan adalah prinsip gelombang.

Contohnya adalah:

1. Ultrasonografi (USG)

Pada alat ini gelombang ultrasonik dipancarkan ke objek (tubuh manusia) dan diterima pantulan dari gelombang tersebut. Dari pantulan dapat diketahui apa yang ada di bawah permukaan kulit manusia.

2. Rontgen atau X-Ray

Alat ini menggunakan radiasi untuk mengambil foto organ dalam tubuh. Tindakan ini sebagian besar digunakan untuk mendiagnosis masalah kesehatan dan untuk mengawasi penyakit yang sudah ada sebelumnya. Rontgen menggunakan gelombang elektromagnetik setara sinar-X yang mampu menembus dengan ketebalan tertentu.

Secara profesi fisika medis di Indonesia telah diakui menjadi tenaga kesehatan dengan amandemen terhadap peraturan pemerintah tentang tenaga kesehatan dengan peraturan menteri kesehatan dan dilanjutkan dengan ditetapkan keputusan menteri pendayagunaan aparatur negara dan badan kepegawaian negara.

Tugas utama dari fisika adalah

1. berkontribusi dalam pelayanan rumah sakit dalam jaminan kualitas peralatan sumber radiasi;
2. menghitung dosis radiasi.

## 3.2 Biomekanika

Biomekanika adalah disiplin ilmu dari fisika yang mempelajari gerakan dan perubahan bentuk mekanis yang mengkoordinasikan sistem otot-tulang dan sistem saraf dalam menjaga keseimbangan postur dan posisi tubuh.

Penerapan analisa gaya dalam terapan Kesehatan:

1. Gaya berat tubuh dan posisi duduk yang menyehatkan tulang belakang. Postur tubuh yang baik akan melindungi dari cedera sewaktu melakukan gerakan karena beban disebarakan merata ke seluruh bagian tulang belakang.
2. Traksi  
Traksi adalah tahanan yang dipakai dengan berat atau alat lain untuk menangani kerusakan atau gangguan pada tulang dan otot. Ini merupakan suatu tindakan untuk memindahkan lokasi tulang yang patang atau yang mengalami dislokasi ke tempat asalnya kembali dengan menggunakan daya tarik yang berturut-turut dengan menggunakan beban dan tarikan.
3. Pemasangan Gips  
Gips merupakan mineral yang terdapat di alam.

## 3.3 Bioakustik

Bioakustik berasal dari gabungan kata bio dan akustik. Bio berarti organisme hidup, dan akustika berarti ilmu tentang bunyi dan getaran. Secara khusus, akustika merujuk pada studi tentang sifat fisik gelombang suara. Bioakustik melibatkan perubahan mekanik pada zat padat, cair, atau gas yang dapat menghasilkan gelombang suara. Gelombang suara ini terdiri dari getaran molekul yang saling berinteraksi untuk menciptakan gelombang.

Dalam hal ini, Bioakustik adalah ilmu yang mempelajari proses pendengaran pada organisme hidup. Gelombang suara terjadi ketika terjadi getaran dan bergerak melalui zat perantara dalam bentuk gelombang longitudinal. Gelombang suara berasal dari partikel-partikel zat yang bergerak dan saling

bertabrakan, sehingga menghasilkan gelombang dan mengirimkan energi tanpa ada perpindahan.

Ada banyak benda yang dapat menjadi sumber suara, termasuk mesin yang bergetar karena pembakaran, alat musik, gerakan daun, lonceng, garpu tala, dan lain sebagainya. Semua suara merambat melalui zat perantara sehingga sampai ke telinga (Nana, 2021).

Pengelompokan bunyi menurut frekuensinya:

1. Bunyi infrasonik merujuk pada bunyi yang memiliki frekuensi yang sangat rendah, yakni di bawah 20 Hz. Bunyi ini tidak dapat terdeteksi oleh telinga manusia, namun dapat didengar oleh anjing dan jangkrik. Umumnya, frekuensi ini dihasilkan oleh getaran tanah, gempa bumi, serta aktivitas gunung berapi.
2. Bunyi audiosonik adalah getaran bunyi yang memiliki frekuensi antara 20 Hz hingga 20.000 Hz. Tidak seperti gelombang infrasonik, gelombang suara dapat didengar oleh pendengaran manusia. Sumber gelombang suara dapat berasal dari alat musik, percakapan manusia, tumbukan benda, dan semua objek yang bergetar dan dapat didengar oleh pendengaran manusia.
3. Bunyi ultrasonik adalah gelombang bunyi yang tidak terdeteksi oleh telinga manusia gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi, yaitu di atas 20.000 Hz. Gelombang ini dapat didengar oleh lumba-lumba dan kelelawar. Kelelawar menggunakan frekuensi ini sebagai sistem navigasi saat terbang di malam hari. Kelelawar dapat menemukan jalannya dan mangsa dengan mengirimkan gelombang ultrasonik. Gelombang ini akan dipantulkan oleh objek di sekitarnya dan kemudian pantulan tersebut dapat ditangkap kembali sehingga kelelawar dapat mengetahui jarak antara dirinya dengan objek di sekitarnya.

Gelombang bunyi dikumpulkan oleh telinga luar dan dialirkan ke liang telinga, dan menuju membran timpani. Membran timpani bergetar untuk merespons gelombang bunyi yang menyentuhnya. Getaran ini menyebabkan tulang pendengaran (ossicle) ditelinga tengah bergerak. Secara mekanis, getaran dari membran timpani ini akan dialirkan ke cairan yang berada di koklea.

Getaran yang tiba di koklea ini akan menghasilkan gelombang sehingga rambut sel yang ada di koklea akan bergerak. Gerakan ini mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik ke saraf pendengaran (auditory nerve) dan menuju ke pusat pendengaran di otak. Pusat ini akan menerjemahkan energi tersebut menjadi suara yang dapat dikenali oleh otak.

### **Dampak Kebisingan Terhadap Kesehatan.**

Efek utama dari kebisingan adalah kerusakan pada kemampuan pendengaran dan hal ini telah diketahui dan diterima secara umum. Selain itu, kebisingan juga bisa mengganggu konsentrasi dan meningkatkan kelelahan. Hal ini terjadi pada kebisingan dengan intensitas rendah, sedangkan pada kebisingan dengan intensitas tinggi bisa menyebabkan kesalahan interpretasi saat berbicara.

Kebisingan yang interferensi dengan frekuensi 300-3.000Hz akan menyebabkan ketidaknyamanan pada telinga. Sebuah penelitian di Jerman menunjukkan bahwa pekerja yang terpapar kebisingan bisa mengalami gangguan hormonal, gangguan metabolisme, denyut jantung yang lemah, kelelahan fisik, dan mudah terganggu.

Prinsip pencegahan gangguan pendengaran akibat kebisingan adalah dengan menghindari sumber kebisingan. Untuk mencapai tujuan ini, tindakan yang dapat dilakukan antara lain adalah memberikan pelumas pada mesin atau alat yang menghasilkan kebisingan, membangun dinding pembatas antara sumber kebisingan dengan area kerja, serta menggunakan alat pelindung telinga seperti *earmuff*/penutup telinga, *ear plug*/penyumbat telinga, atau bahan wol-katun atau sintetis.

### **Penggunaan Dalam Bidang Kesehatan**

Berkaitan dengan efek yang ditimbulkan gelombang ultrasonik maka gelombang ultrasonik dipergunakan sebagai diagnosis dan pengobatan.

#### **1. MRI (Magnetic Resonance Imaging)**

MRI adalah suatu cara pemotretan organ tubuh menggunakan resonansi magnetis. Sistem kerjanya adalah pasien berbaring dalam sebuah tabung, kemudian gelombang bunyi ultrasonik ditembakkan ke tubuhnya. Gema dari gelombang bunyi itu akan mencitrakan gambar tubuh bagian dalam pasien.

## 2. USG (Ultrasonography)

Pemeriksaan ultrasonografi (USG) adalah sebuah teknik diagnostik yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk melihat struktur jaringan tubuh manusia berdasarkan pantulan gelombang tersebut. USG merupakan metode medis yang digunakan untuk menghasilkan gambaran kondisi bagian dalam tubuh manusia.

Pemeriksaan Ultrasonik dapat dipergunakan untuk beberapa diagnosis, diantaranya:

1. mendiagnosis tumor otak, memberi informasi tentang penyakit-penyakit mata, daerah/lokasi yang dalam dari bola mata;
2. untuk memperoleh informasi struktur dari dalam tubuh manusia;
3. untuk mendeteksi kehamilan, kelainan uterus atau sistem reproduksi;
4. memberi informasi tentang kesehatan jantung dan penyakit pada jantung.

Asriwati (2017) menjelaskan *Occupational Biomechanic* (Biomekanika pekerjaan) adalah studi tentang keterkaitan antara pekerja dan peralatannya, lingkungan tempat kerja, dan faktor lainnya untuk meningkatkan kinerja kerja dan mengurangi risiko cedera. Tubuh manusia sebagai sistem yang terdiri dari unsur-unsur yang saling terkait dan terhubung melalui sendi dan jaringan otot. Struktur tubuh manusia meliputi tulang, sendi/jaringan penghubung, dan otot.

Prinsip-prinsip fisika digunakan untuk mengukur beban mekanik pada tubuh dan kekuatan otot yang diperlukan untuk menanggung beban tersebut. Sendi/jaringan penghubung terdiri dari tiga bagian yaitu kartilago, ligamen, dan tendon. Teori fisika seperti beban, massa, gaya, dan momen diterapkan pada tubuh manusia.

Menurut Ghaffin & Anderson (1984), terdapat enam penghubung/link antara bagian tubuh manusia, yaitu:

1. Penghubung antara lengan bawah dan pergelangan tangan serta siku.
2. Penghubung antara lengan atas dan siku serta bahu.
3. Penghubung antara punggung dan bahu serta pinggul.
4. Penghubung antara paha dan pinggul serta lutut.
5. Penghubung antara betis dan lutut serta mata kaki.

6. Penghubung antara kaki dan mata kaki serta telapak kaki otot.

## 3.4 Bio Optik

Bioptik terdiri atas dua kata yaitu Bio dan Optik. Bio berkaitan dengan makhluk hidup sedangkan optik dikenal sebagai bagian ilmu fisika yang berkaitan dengan cahaya. Fokus utama di Biooptik adalah mata sebagai indera penglihatan manusia (Asriwati, 2017).

Bagian-bagian mata adalah:

1. Kornea  
Kornea adalah selaput kuat yang tembus cahaya dan berfungsi sebagai pelindung bagian dalam bola mata.
2. Iris  
Iris adalah selaput berbentuk lingkaran yang menyebabkan mata dapat membedakan warna. Iris terletak sebagian di depan lensa dan sebagian di depan badan silindris. Fungsi iris adalah untuk mengendalikan jumlah cahaya yang masuk.
3. Pupil  
Pupil adalah celah lingkaran pada mata yang dibentuk oleh iris yang berfungsi mengatur banyaknya cahaya yang masuk ke mata.
4. Lensa mata  
Lensa mata adalah lapisan mata yang fleksibel dan tembus cahaya. Letaknya di belakang pupil dan iris. Lensa berperan dalam mengarahkan cahaya sehingga bayangan objek terfokus di retina.
5. Retina  
Retina merupakan lapisan yang sangat tipis di bagian belakang bola mata yang sangat sensitif terhadap cahaya. Sel-sel yang terdapat pada retina, yaitu sel batang (basilus) dan sel kerucut (konus), berperan dalam memicu impuls saraf melalui saraf optik ke otak dengan tujuan membentuk penglihatan.

## 6. Saraf Optik

Saraf optik adalah bagian penting dari sistem visual penglihatan yang bertugas untuk mengirimkan sinyal cahaya ke otak. Proses informasi yang dibawa oleh saraf kemudian terjadi di otak sehingga kita dapat melihat objek dengan jelas.

Ada tiga komponen pada pengindraan penglihatan, yaitu:

1. Mata memfokuskan bayangan pada retina.
2. Sistem saraf mata yang memberi informasi ke otak.
3. Korteks penglihatan salah satu bagian yang menganalisis penglihatan tersebut.

## Teori Tanggap Warna

Kemampuan mata untuk merespons warna disebut tanggap warna. Meskipun mekanisme tanggap warna belum sepenuhnya dipahami, pengamatan fotopik dapat memungkinkan kita untuk melihat warna. Namun, penglihatan warna pada objek yang jauh dari pusat medan penglihatan sulit untuk dibedakan.

Retina adalah bagian mata yang merespons cahaya dan memiliki dua jenis reseptor, yaitu *cone* (sel kerucut) dan *rod* (sel batang). *Cone* memiliki sekitar 6,5 juta reseptor pada setiap mata dan peka terhadap warna kuning dan hijau, sedangkan *rod* memiliki sekitar 120 juta reseptor pada setiap mata dan peka terhadap cahaya biru pada penglihatan *skotopik* (malam hari).

Teori tanggap warna menyatakan bahwa *cone* dan *rod* berbeda dalam beberapa hal. *Cone* lebih selektif dalam merespons warna, kurang sensitif terhadap cahaya, dan memiliki hubungan dengan otak dalam hal ketajaman penglihatan. Ahli faal seperti Lamonov, Young Helmholtz percaya bahwa terdapat tiga jenis *cone* yang merespons tiga warna pokok, yaitu biru, hijau, dan merah.

*Cone* biru dapat menerima gelombang frekuensi cahaya antara 400-500 milimikron, sedangkan *cone* hijau dapat mendeteksi warna biru, hijau, kuning, oranye, dan merah dengan menerima gelombang cahaya dengan frekuensi antara 450 dan 675 milimikron. *Cone* merah dapat mendeteksi seluruh panjang gelombang cahaya, tetapi lebih responsif terhadap warna oranye kemerahan daripada warna lainnya. Ketiga warna pokok tersebut disebut *trikromatik*.

## Buta Warna

Apabila seseorang tidak memiliki kemampuan untuk membedakan warna merah dengan menggunakan *cone* merah, ia masih dapat melihat warna hijau, kuning, dan oranye melalui *cone* hijau. Namun, ia tidak dapat membedakan dengan akurasi antara warna-warna tersebut karena tidak memiliki *cone* merah sebagai kontras.

Sebaliknya, jika seseorang kekurangan *cone* hijau, ia tidak dapat membedakan antara warna hijau, kuning, oranye, dan merah karena *cone* hijau yang kurang tidak dapat berkontraksi dengan *cone* merah. Ketidakmampuan untuk membedakan warna merah dan hijau disebut sebagai buta warna merah-hijau, yang terjadi ketika tidak ada *cone* merah atau hijau yang berfungsi.

Kejadian yang jarang terjadi adalah kekurangan *cone* biru, yang dapat menyebabkan kesulitan dalam membedakan warna ungu, biru, dan hijau. Jenis buta warna ini disebut sebagai kelemahan biru (*blue weakness*).

## Peralatan Dalam Pemeriksaan Mata

Ada tiga prinsip dalam pemeriksaan mata yaitu: pemeriksaan mata bagian dalam, dan pengukuran daya fokus mata, pengukuran kelengkungan kornea.

Peralatan dalam pemeriksaan mata dan lensa ada 6 macam yaitu:

1. Ophthalmoskop.
2. Retinoskop.
3. Keratometer.
4. Tonometer dari Schiots.
5. Pupilometer.
6. Lensometer.

Gangguan Refraksi pada Mata memiliki empat jenis, yaitu:

1. Miopi (Rabun Jauh)

Seseorang yang mengalami *miopi* dapat melihat benda dengan jelas pada jarak 25 cm tetapi tidak dapat melihat benda jauh dengan jelas. Hal ini terjadi karena lensa mata tidak dapat menipis seperti seharusnya sehingga bayangan benda jatuh di depan retina. Hal ini disebabkan oleh kebiasaan mata melihat benda dengan jarak dekat atau

kurang dari 25 cm. Gangguan penglihatan ini dapat diatasi dengan menggunakan kacamata berlensa cekung (minus).

2. Hipermetropi (Rabun Dekat)

Penderita *hipermetropi* memiliki titik dekat lebih dari 25 (>25 cm) dan titik jauh pada jarak tak terhingga. Mereka dapat melihat benda jauh dengan jelas tetapi tidak dapat melihat benda dekat dengan jelas. Hal ini terjadi karena lensa mata tidak dapat menjadi cembung seperti seharusnya sehingga bayangan benda jatuh di belakang retina. Hal ini disebabkan oleh kebiasaan mata melihat benda yang jaraknya jauh. Gangguan penglihatan ini dapat diatasi dengan menggunakan kacamata berlensa cembung (Plus).

3. Presbiopi (Mata Tua)

Jenis gangguan penglihatan ini bukan merupakan cacat mata, melainkan disebabkan oleh daya akomodasi yang berkurang akibat bertambahnya usia. Titik dekat dan titik jauh telah bergeser. Titik dekatnya lebih dari 25 cm dan titik jauhnya hanya pada jarak tertentu. Penderita *presbiopi* tidak dapat melihat benda jauh dengan jelas dan tidak dapat membaca pada jarak baca normal. Gangguan penglihatan ini dapat diatasi dengan menggunakan kacamata berlensa rangkap (minus di atas dan plus di bawah) yang disebut kacamata bifokal.

4. Astigmatisma

*Astigmatisma* merupakan suatu kelainan pada mata yang disebabkan oleh tidak berbentuknya kornea mata secara *sferis*, melainkan lebih melengkung pada satu sisi dibanding sisi yang lain. Hal ini mengakibatkan titik fokus berubah menjadi garis pendek. Orang yang menderita *astigmatisma*, hanya akan melihat garis dalam satu arah dengan lebih jelas daripada arah yang berlawanan. Untuk mengatasi masalah ini, penderita *astigmatisma* dapat menggunakan kacamata yang dilengkapi dengan lensa silindris.

## 3.5 Penerapan Prinsip-Prinsip Fisika Dalam Pemeliharaan Alat Kesehatan

Menurut Asriwati (2017) penerapan prinsip-prinsip fisika dalam pemeliharaan alat-alat kesehatan adalah sebagai berikut:

### 1. Definisi alat kesehatan

Menurut peraturan Menteri Kesehatan RO No.23 Tahun 1992 Tentang Kesehatan. Alat Kesehatan (ALKES) adalah instrumen, *apparatus*, mesin, implan yang digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit, serta memulihkan kesehatan pada manusia dan atau membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh.

### 2. Penggolongan alat-alat kesehatan

Penggolongan alat kesehatan terdiri atas:

- a. Fungsinya: Medis maupun Non Medis
- b. Sifat Pemakaiannya: Habis pakai ataupun terus Menerus
- c. Kegunaannya: THT, Obgyn, Bedah, dll
- d. Umur peralatan:
  - Disposable
  - Alat penyusutan < 5thn: alat lab
  - Alat penyusutan >5 thn: RO. Alat sterilisasi, film
- e. Menurut bentuknya
  - Alat Kecil: Jarum / Sput, alat bedah.
  - Alat perlengkapan rumah sakit: meja, autoclave.
  - Alat Laborat: Reagen, gelas ukur.
  - Alat radiologi: Scanner.

Peralatan kesehatan dapat dikategorikan menjadi 4 yaitu L:

#### a. Peralatan elektronik

Adalah peralatan yang menggunakan sumber daya listrik, misalnya alat *Electrocardiography*, ventilator, monitor EKG dll.

- b. Peralatan dari bahan baku logam  
Bahan baku logam yang biasa dipakai adalah nikel, alpaca, tembaga dan logam campuran logam lainnya. Misalnya Forcep ekstraksi, Gunting dan pinset dll.
  - c. Peralatan dari bahan baku gelas  
Biasanya dipakai adalah *pyrex*, *fiberglass*, contoh: *Vacuum extractive* /ekstraksi tabung reaksi, buret, dll.
3. Pengertian perawatan alat  
Melaksanakan pemeliharaan peralatan perawatan dan kedokteran dengan cara membersihkan, mendesinfeksi atau mensterilkan serta menyimpannya.
4. Tujuan
- a. menyiapkan peralatan perawatan dan kedokteran dalam keadaan siap pakai;
  - b. mencegah peralatan cepat rusak;
  - c. mencegah terjadinya infeksi silang;
  - d. pemeliharaan peralatan dari logam.
5. Perawatan macam-macam alat kesehatan
- a. Perawatan alat-alat Elektronika  
Perawatan elektronika sangat peka terhadap guncangan sehingga perlu dihindari dari guncangan. Hindari peralatan dari medan magnet yang kuat agar sensitivitas meter tidak berubah, alat elektronika tidak tahan pada suhu diatas 25<sup>o</sup> C sehingga perlu mengatur kondisi suhu ruangan untuk menghindari suhu terlalu tinggi. Debu dapat mempengaruhi kerjanya alat sehingga ruangan dibersihkan dengan menggunakan alat penyedot debu (Vacuum cleaner). Pengetahuan dan keterampilan penggunaan peralatan memegang peranan penting dalam perawatan peralatan untuk menghindari kerusakan.
  - b. Perawatan alat dari bahan baku logam  
Alat-alat yang terbuat dari logam misalnya besi, tembaga maupun aluminium sering terjadi karatan untuk menghindari terjadinya kondisi tersebut perlu alat-alat tersebut disimpan pada suhu

ruangan temperatur yang tinggi ( $37^{\circ}\text{C}$ ) dan lingkungan yang kering kalau perlu memakai bahan silikon sebagai penyerap uap air.

c. Perawatan alat dari bahan baku gelas

Peralatan dengan bahan baku gelas banyak dipakai dalam laboratorium medis, ada beberapa keuntungan maupun kelemahan dari bahan baku gelas tersebut.

Keuntungan: bahan gelas tahan terhadap reaksi kimia, tahan terhadap perubahan temperatur, koefisien muai yang kecil dan tembus cahaya yang besar.

Kelemahan: mudah pecah terhadap tekanan mekanik dan mudah tumbuh jamur sehingga mengganggu daya tembus sinar, timbul goresan pada saat membersihkan dengan bahan yang tidak lembut maka dari segi keperawatan maupun memperlakukan alat-alat gelas harus diperhatikan:

- Suhu ruangan berkisar  $27^{\circ}\text{C}$ - $37^{\circ}\text{C}$  dan ditambahkan lampu 25 watt.
- Ruangan tempat penyimpanan diberikan bahan silikon sebagai zat higroskopis.
- Gunakan alkohol, *acetone*, kapas, sikat halus dan pompa angin untuk membersihkan debu.
- Pada waktu memanaskan tabung reaksi hendaknya ditempatkan pada kawat kasa: atau boleh pemanasan secara langsung asalkan bahan gelas terbuat dari *pyrex*.
- Gelas yang direbus hendaknya jangan dimasukkan secara langsung ke dalam air yang sedang mendidih melainkan ke air dingin dan kemudian dipanaskan secara perlahan.
- Bersihkan bahan/kotoran yang menempel pada gelas dengan menggunakan cairan alkohol, detergen dan larutan.

6. Sterilisasi

Suatu proses dimana kegiatan ini bertujuan untuk membebaskan alat maupun bahan dari berbagai macam mikroorganisme.

Tujuannya:

- a. untuk membebaskan alat dari kuman / bakteri;
- b. mencegah terjadinya infeksi silang dan penularan penyakit;
- c. memelihara peralatan dalam kondisi siap pakai.

# Bab 4

## Struktur dan Fungsi Sistem Integumen

### 4.1 Pendahuluan

Kulit merupakan lapisan yang menutupi seluruh permukaan tubuh yang berperan sebagai pelindung dari berbagai macam rangsangan dan gangguan dari luar. Sistem kulit disebut juga sistem integumen terdiri dari kulit, rambut, kelenjar keringat dan minyak, kuku dan reseptor sensorik. Sistem integumen membantu menjaga temperatur tubuh tetap konstan, melindungi tubuh dan mencegah invasi kuman dari lingkungan sekitar.

Kulit orang dewasa memiliki luas 1.5 – 2m<sup>2</sup> dengan berat sekitar 5 kg atau 15-20% total berat badan. Ketebalan kulit juga bervariasi tergantung lokasinya. Contohnya, kulit pada telapak kaki dan tangan tampak lebih tebal dibandingkan dengan bagian wajah, paha dan dada. Ketebalan kulit berkisar antara 0,5 mm sampai 4,0 mm di telapak kaki, sebagian besar memiliki ketebalan 1-2 mm. Lapisan kulit yang lebih dalam, memiliki banyak pembuluh darah, serabut saraf sensorik, otonom dan simpatik yang menjalankan komunikasi ke dan dari otak.

Kulit mengandung ujung saraf sensoris nyeri, suhu dan sentuhan. Perubahan warna kulit, dapat menjadi indikator adanya perubahan homeostasis tubuh. Sebagai contoh, adanya hipoksia akibat penurunan sirkulasi sistemik pada

pasien gangguan fungsi jantung, akan menyebabkan warna kulit menjadi kebiruan. Eritema pada kulit juga dapat terjadi akibat peningkatan sirkulasi darah ke kapiler di bawah lapisan dermis, hal ini terjadi akibat adanya infeksi atau inflamasi, kulit tampak jaundice, juga akan ditemukan pada pasien gangguan fungsi hepar.

Kulit sebagai organ, tersusun dari 4 jaringan dasar (Kalangi, 2013) yaitu:

1. Memiliki berbagai jenis epitel, terutama epitel berlapis gepeng dengan lapisan tanduk.
2. Memiliki beberapa jenis jaringan ikat seperti serat elastin dan kolagen.
3. Adanya jaringan otot pada dermis seperti jaringan otot polos, yaitu otot penegak rambut dan jaringan otot bercorak pada otot-otot ekspresi wajah.
4. Jaringan saraf sebagai reseptor sensoris yang ditemukan pada kulit berupa ujung saraf bebas dan berbagai badan akhir saraf seperti Meissner dan Paccini.

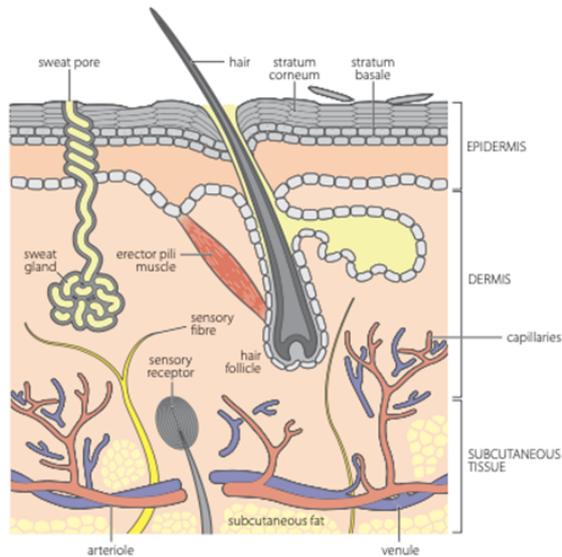
## 4.2 Struktur Kulit

Kulit merupakan lanjutan dari membran yang melapisi orifisium tubuh yang menutupi tubuh dengan sempurna. Dua lapisan utama pada kulit yaitu lapisan epidermis dan dermis. Lapisan epidermis merupakan lapisan terluar dan tersusun atas jaringan epitel yang berasal dari ektoderm embrio. Lapisan dermis merupakan jaringan ikat yang lebih dalam dan lebih tebal, serta berasal dari mesoderm embrio.

Pada lapisan dermis, terdapat organ asesoris kulit yang terdiri dari rambut, kelenjar sudorifera, kelenjar sebacea, kuku dan kelenjar mammae. Lapisan berikutnya di bawah dermis adalah lapisan subkutaneum atau hipodermis. Lapisan ini tidak dianggap sebagai bagian dari kulit (Tortora & Derrickson, 2020).

Lapisan hipodermis merupakan jaringan ikat longgar dengan serat kolagen pada permukaan kulit, memiliki sel-sel lemak dan pembuluh darah besar yang memasok kulit, sehingga mampu mempertahankan suhu tubuh, menyimpan cadangan energi, bagian tersebut juga mengandung ujung saraf atau disebut

dengan sel lamellar yang peka terhadap tekanan dan dapat menjadi bantalan yang meredam trauma melalui permukaan kulit.



**Gambar 4.1:** Struktur Kulit (Minett & Ginesi, 2020)

### 4.2.1 Lapisan Epidermis

Epidermis merupakan lapisan terluar kulit yang terdiri atas epitel gepeng (skuamosa) berkeratin dan berlapis, memiliki empat jenis sel utama yaitu, keratinosit, melanosit, sel dendritik dan sel epitel taktil (Tortora & Derrickson, 2020).

Keratinosit merupakan sel terbanyak yang berasal dari ektoderm. Keratin merupakan protein berserat yang mampu melindungi kulit dan jaringan dibawahnya dari lecet, mikroba dan bahan kimia. Sel-sel tersebut, akan diperbaharui melalui proses mitosis pada stratum basal dan akan mencapai permukaan epitel.

Selama proses pertumbuhan tersebut, keratinosit mengalami proses yang disebut 'diferensiasi terminal' membesar dan mengumpulkan filamen keratin dalam sitoplasmanya saat mendekati permukaan, sel akan terkelupas. Proses ini disebut dengan keratinisasi. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai permukaan tersebut sekitar 20 - 30 hari (Kalangi, 2013).

Pemeliharaan epidermis yang sehat bergantung pada tiga proses sebagai berikut (Waugh & Grant, 2011):

1. Deskuamasi (peluruhan) sel berkeratin dari permukaan.
2. Keratinisasi.
3. Pembelahan sel yang terus menerus di lapisan lebih dalam.

Sel berikutnya adalah melanosit. Sekitar 8% dari sel epidermis adalah melanosit, yang menghasilkan pigmen melanin. Jumlahnya ditentukan secara genetik dan bervariasi pada bagian tubuh yang berbeda, antara etnik yang sama dengan yang berbeda. Perbedaan tersebut, tergantung pada melanin yang disekresi. Melanosit juga rentan mengalami kerusakan akibat sinar ultraviolet.

Melanin merupakan pigmen gelap yang muncul dalam dua bentuk di stratum basal (Minett & Ginesi, 2020) yaitu:

1. Eumelanin merupakan tipe warna hitam dan coklat, yang ditemukan pada orang berkulit terang dan gelap dalam jumlah yang berbeda.
2. Pheomelanin merupakan warna kuning kemerahan, yang ditemukan pada bibir, puting susu, kepala penis dan vagina.

Sel epitel yang berperan dalam sistem imun adalah dendritik atau sel langerhans, membentuk 5% dari sel epitel, mudah rusak oleh sinar ultraviolet, muncul dari sumsum tulang merah dan bermigrasi ke epidermis. Sel dendritik akan membantu sel-sel lain dari sistem imun untuk mengenali mikroba yang menyerang dan menghancurkannya.

Sel Merkel atau sel epitel taktil terletak pada lapisan terdalam epidermis, berjumlah sekitar 2% dari sel epidermis, berperan dalam mendeteksi sensasi sentuhan. Sel – sel ini melimpah pada permukaan tangan dan kaki. Lapisan epidermis tidak memiliki pembuluh darah, dan aliran limfe oleh karena itu, semua nutrisi dan oksigen pada epidermis, diperoleh dari kapiler yang terdapat pada lapisan dermis. Epidermis memiliki 5 lapisan (dari dalam keluar) yaitu: stratum basal, stratum spinosum, stratum granulosum, stratum lusidum dan stratum korneum.

### **Stratum Basal**

Stratum basal disebut juga dengan stratum germinativum merupakan lapisan epidermis terdalam yang menempelkan epidermis ke lamina basalis. Terdiri dari satu baris keratinosit berbentuk kubus, berinti besar, sitoplasmanya

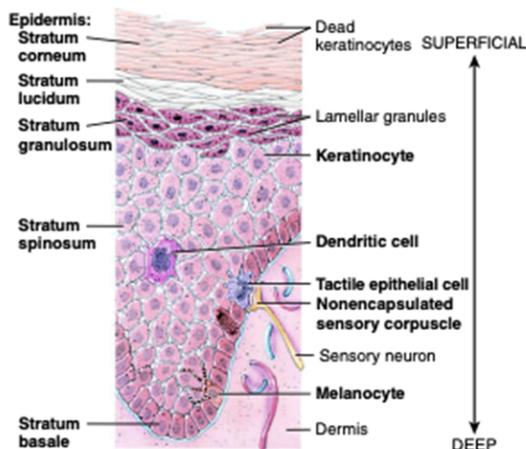
mengandung banyak ribosom, kompleks golgi kecil, beberapa mitokondria dan retikulum endoplasma kasar, biasanya terlihat gambaran mitotik sel, proliferasi selnya berfungsi untuk regenerasi epitel. Sel - sel stratum basal terikat ke dermis melalui jaringan serat kolagen yang disebut dengan membran basal.

### Stratum Spinosum

Stratum spiosum tersusun atas banyak keratinosit yang diproduksi oleh sel punca epidermis lapisan basal. Tersusun dalam 8-10 lapisan, membentuk poligonal dengan inti lonjong, sitoplasmanya kebiruan. Terlihat berduri karena proses sel yang menonjol bergabung dengan sel melalui struktur yang disebut desmosom. Desmosom saling mengunci satu sama lain dan memperkuat ikatan antar sel. Susunan ini memberikan kekuatan dan kelenturan pada kulit. Pada stratum spinosum juga terdapat sel-sel dendritik dan melanosit.

### Stratum Granulosum

Stratum granulosum terdiri atas 3 – 5 lapisan sel – sel pipih yang mengalami apoptosis, mengandung granula basofilik yang disebut dengan granula keratohialin. Sitoplasma sel pada stratum granulosum terdapat granula lamelar yang tertutup membran, menyatu dengan membran plasma dan melepaskan sekresi yang mengandung lemak dan enzim yang akan dilepaskan ke dalam ruang interseluler. Sekresi ini berperan sebagai sealant penolak air, memperlambat hilangnya dan masuknya air dan benda asing serta pertahanan epidermis.



**Gambar 4.2:** Lapisan-Lapisan Epidermis (Tortora & Derrickson, 2020)

### **Stratum Lusidum**

Stratum lusidum merupakan lapisan epidermis yang halus, tembus pandang, terdiri dari 4-6 lapisan keratinosit mati yang rata dan jernih. Mengandung keratin dalam jumlah besar, dikemas secara padat dengan eleiden, protein bening yang kaya akan lipid yang memberikan tampilan transparan dan menjadi penghalang terhadap air. Lapisan sel tipis ini ditemukan pada kulit telapak tangan, telapak kaki dan permukaan plantar pada jari kaki.

### **Stratum Korneum**

Stratum korneum merupakan lapisan paling dangkal pada epidermis, terdiri atas 25-30 lapisan keratinosit mati, sel – selnya sangat tipis, tidak berinti, sitoplasmanya digantikan oleh keratin, memiliki ketebalan bervariasi. Paling tebal terletak pada telapak tangan dan telapak kaki. Sel – sel di dalam setiap lapisan saling tumpang tindih pada bagian tepi, saling mengunci dan bersama lemak interseluler mampu menahan kehilangan air dan mengatur permeabilitas, deskuamasi, antimikroba, eksklusi toksin dan penyerapan kimia secara selektif.

### **Lapisan Dermis**

Lapisan dermis merupakan jaringan dibawah epidermis yang memberi ketahanan pada kulit, termoregulasi, perlindungan invasi kuman dan ekskresi. Dermis bersifat elastik dan keras yang tersusun oleh jaringan ikat dan matriks yang mengandung serat kolagen. Serat kolagen mengikat air dan menyebabkan kulit memiliki daya rentang, namun kemampuan ini menurun seiring pertambahan usia. Dermis terdiri atas stratum papilaris dan stratum retikularis.

### **Stratum Papilaris**

Lapisan ini tersusun atas jaringan ikat longgar, mengandung kolagen tipis dan serat elastis halus. Ditandai oleh adanya papila dermis yang jumlahnya bervariasi 50 – 250/mm<sup>2</sup> (Kalangi, 2013). Jumlah terbanyak pada daerah yang paling banyak mengalami tekanan seperti telapak kaki. Di dalam lapisan papiler terdapat fibroblas, sel lemak (adiposit) dan loop kapiler (pembuluh darah).

Pembuluh darah kapiler akan memberikan nutrisi pada epitel di atasnya. Lapisan papiler mengandung fagosit yang berperan sebagai mekanisme pertahanan tubuh dengan cara melawan bakteri atau infeksi yang masuk kedalam kulit. Papila lainnya mengandung kapiler limfatik dan badan akhir saraf sensorik yaitu badan Meissner yang peka terhadap sentuhan.

### **Stratum Retikularis**

Lapisan ini melekat pada jaringan subkutan dan mengandung serat kolagen yang tebal. Serat kolagen tersusun lebih teratur dibandingkan dengan serat kolagen lapisan papilaris. Kombinasi serat kolagen dan elastin akan membentuk jalinan yang padat dan irreguler. Hal ini dapat membantu kulit menahan peregangan, memberikan kekuatan pada kulit (ekstensibilitas) dan mampu kembali ke bentuk semula setelah peregangan (elastisitas). Kolagen juga dapat mengikat air untuk menjaga kulit tetap terhidrasi. Pembuluh darah, saraf, folikel rambut, kelenjar sebacea dan kelenjar sudoriferus menempati ruang-ruang di antara serat tersebut.

## **4.3 Struktur Aksesoris Kulit**

### **4.3.1 Rambut**

Rambut menutupi sebagian besar permukaan tubuh. Batang rambut adalah bagian rambut yang dangkal, memiliki struktur keratin keras yang dihasilkan oleh epitelial berbentuk kantung yaitu folikel rambut. Rambut dibentuk oleh folikel yang merupakan invaginasi tubular pada epidermis. Bagian ujung basal folikel yang melebar melingkari papila pili terdiri atas jaringan ikat, pembuluh darah dan saraf yang penting bagi kelangsungan hidup folikel rambut. Pada dasar folikel, terdapat kumpulan sel yang disebut bulbus.

Akar rambut adalah bagian dalam batang rambut yang terdapat pada dermis. Terdapat tiga lapisan sel pada batang dan akar rambut yaitu, medula, korteks dan kutikula rambut. Medula terletak dibagian dalam, membentuk inti pusat rambut yang dikelilingi korteks. Tekstur rambut (lurus, keriting) ditentukan oleh bentuk dan struktur korteks. Korteks rambut merupakan bagian terbesar rambut, lapisan sel yang lebih tebal dan mengandung keratin keras. Melanin biasanya terletak diantara sel-sel ini, sehingga mewarnai rambut.

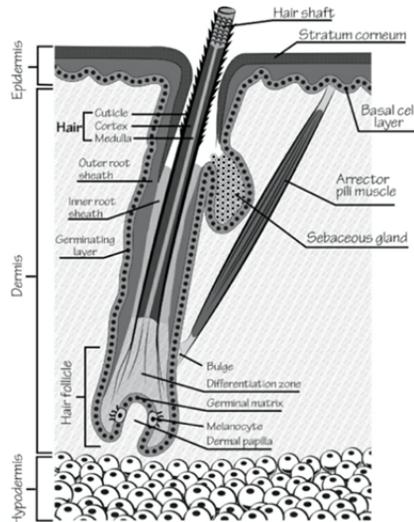
Perlu diperhatikan bahwa, tidak semua rambut memiliki lapisan medula. Kutikula terdiri dari sel-sel keratin dan merupakan bagian paling luar batang dan akar rambut, Otot-otot pili erektor dipersarafi oleh saraf-saraf adrenergik yang berperan menegakkan rambut saat kedinginan atau mengalami tekanan emosional. Rambut sebagian besar terdapat pada permukaan kulit kecuali puting

susu, telapak tangan, telapak kaki, labia minora dan ujung penis. Ketebalan dan pola distribusi rambut ditentukan oleh pengaruh genetik dan hormonal.

### Pertumbuhan Rambut

Setiap folikel rambut akan mengalami fase pertumbuhan yang terdiri dari: fase anagen (pertumbuhan), katagen (peralihan) dan telogen (istirahat). Fase anagen diawali dengan mitosis sel-sel matriks rambut membelah, membentuk sel-sel baru dan mendorong sel-sel yang tua ke atas. Fase katagen merupakan fase peralihan dari anagen ke katagen. Pada fase ini aktivitas mitosis sel-sel matriks berhenti, folikel rambut mengalami atrofi dan rambut berhenti tumbuh.

Tahap berikutnya adalah telogen, fase ini diawali dengan sel epitel yang memendek dan membentuk tunas kecil rambut baru dengan akar rambut yang lama rontok atau terdorong keluar dari folikel rambut. Rambut kepala mempunyai siklus pertumbuhan sepanjang 2-3 tahun sebelum memasuki masa istirahat selama 3-4 bulan (Kalangi, 2013).



**Gambar 4.3:** Lokasi dan Struktur Rambut (Nedu, 2021)

### 4.3.2 Kelenjar Kulit

Beberapa jenis kelenjar eksokrin yang berhubungan dengan kulit adalah kelenjar sebacea dan kelenjar sudorifera.

### **Kelenjar Sebacea**

Kelenjar sebacea adalah jenis kelenjar minyak yang ditemukan di seluruh permukaan tubuh, membantu melumasi dan membuat kulit dan rambut kedap air. Kelenjar sebacea mengeluarkan zat berminyak yang disebut sebum, campuran trigliserida, kolesterol dan protein. Sebum menjaga rambut tidak kering dan rapuh dengan cara melapisi permukaan rambut. Asam lemak dari sebum juga memiliki sifat antibakteri dan mencegah hilangnya air dari kulit pada lingkungan yang lembab.

### **Kelenjar Sudorifera**

Kelenjar keringat dibagi menjadi 2 yaitu: Kelenjar ekrin dan apokrin. Kelenjar ekrin merupakan kelenjar yang melingkar, terletak di dalam dermis dengan saluran yang naik ke pori-pori di permukaan kulit, tempat keringat dikeluarkan. Terdapat dua sampai tiga juta kelenjar keringat ekrin yang menutupi permukaan tubuh. Kelenjar ekrin mensekresi air, elektrolit, laktat, glukosa, asam amino, urea dan ammonia. Keringat yang dihasilkan kelenjar keringat ekrin, diproduksi sekitar 600ml/hari. Kelenjar ekrin banyak ditemukan di dahi, telapak tangan dan telapak kaki.

Namun, tidak terdapat pada pinggiran bibir, bantalan kuku jari tangan dan kaki, kelenjar penis, kelenjar klitoris, labia minora dan gendang telinga. Kelenjar keringat ekrin menghasilkan keringat hipotonik untuk mengatur suhu tubuh melalui proses penguapan. Kelenjar keringat ekrin dikendalikan oleh sistem saraf simpatis dan sebagai neurotransmitter adalah asetilkolin. Kelenjar apokrin merupakan kelenjar yang memiliki saluran dan lumen yang lebih besar daripada kelenjar keringat ekrin.

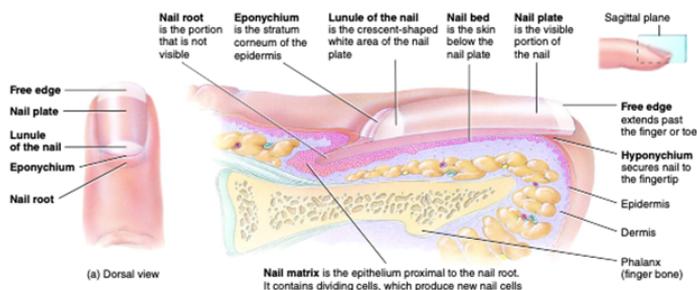
Kelenjar ini menghasilkan sekret berminyak yang mengandung protein, karbohidrat, amonia dan lemak. Kelenjar keringat apokrin juga mengandung senyawa organik yang membuat keringat menjadi lebih kental dan dapat terurai oleh bakteri, sehingga menimbulkan bau. Kelenjar ini menjadi aktif saat usia pubertas. Kelenjar keringat apokrin ditemukan pada kulit ketiak, selangkangan dan areola.

### **4.3.3 Kuku**

Kuku merupakan lempengan keratin bertanduk yang keras yang berasal dari invaginasi epidermis pada dorsum falang terakhir dari jari. Kuku terdiri lempeng kuku, tepi dan akar kuku. Stratum korneum yang menyelimuti akar disebut

eponychium. Adanya sirkulasi darah yang mengalir di kapiler pada bagian dermis, menyebabkan lempeng kuku sebagian besar berwarna merah muda.

Akar kuku adalah bagian kuku yang terkubur dalam lipatan kulit, melekat pada kulit, dilapisi oleh kutikula dan membentuk area lunula. Pertumbuhan kuku pada orang dewasa lebih cepat dari pada usia lanjut. Rata-rata pertumbuhan panjang kuku sekitar 1 mm per minggu.



**Gambar 4.4:** Potongan Sagital Bagian-Bagian Kuku (Tortora & Derrickson, 2020)

## 4.4 Fungsi Kulit

### Proteksi

Kulit sebagai proteksi dilakukan dengan cara memberikan perlindungan terhadap angin, air dan sinar ultraviolet. Kulit membentuk lapisan anti air, yang tersusun oleh epitel berkeratin dan glikolipid dalam stratum korneum, yang melindungi jaringan dibawahnya dari mikroba, abrasi panas dan bahan kimia. Lipid yang dilepaskan oleh butiran lamelar dapat melindungi kulit dari masuknya air saat mandi dan berenang serta mencegah dehidrasi dengan cara menghambat penguapan air dari permukaan kulit.

Perlindungan kulit terhadap invasi mikroba, dilakukan dengan pengeluaran sebum oleh kelenjar keringat sebacea yang menjaga kulit dan rambut agar tidak mudah kering dan menghasilkan dermicidin yang mengandung bakterisida. Perlindungan sinar ultraviolet dilakukan dengan cara mengeluarkan pigmen melanin.

### **Termoregulasi**

Kulit menjaga homeostasis suhu tubuh dengan menjaganya tetap konstan. Pengaturan suhu tubuh berhubungan dengan sistem saraf simpatis melalui mekanisme fight or flight. Pada saat suhu lingkungan tinggi atau panas, seperti pada kondisi setelah berolahraga dan cuaca terik, maka terjadi vasodilatasi pembuluh darah yang membantu pengeluaran panas dan kelenjar keringat ektrin akan meningkat, penguapan keringat dari permukaan kulit membantu menurunkan suhu tubuh.

Pada saat suhu lingkungan rendah, maka terjadi vasokonstriksi pembuluh darah yang akan mengurangi aliran darah melalui kulit dan mengurangi kehilangan panas tubuh. Produksi kelenjar keringat ektrin menurun, sehingga membantu menghemat panas. Kondisi ini akan mencegah tubuh mengalami hipotermia. Pada orang dewasa, suhu tubuh normal berkisar antara 36,0 – 37,40C.

### **Sintesa Vitamin D**

Sintesis vitamin D memerlukan aktivasi molekul prekursor di kulit oleh sinar ultraviolet. Aktivasi dilakukan dengan menginduksi konversi prekursor menjadi vitamin D<sub>3</sub>. Molekul prekursor dihasilkan lapisan epidermis di se – sel stratum basal dan stratum spinosum. Kalsitriol merupakan bentuk vitamin D yang paling aktif yang merupakan hasil modifikasi molekul yang telah diaktifkan oleh enzim di hati dan ginjal.

Kalsitriol adalah hormon yang membantu penyerapan dan transportasi kalsium di usus, tulang dan ginjal. Penyerapan kalsium yang tepat, akan membantu pembentukan tulang yang sehat. Vitamin D diyakini dapat membantu meningkatkan sistem imun dengan cara meningkatkan aktivitas fagosit dan meningkatkan produksi zat antimikroba dalam fagosit. Sintesis vitamin D memerlukan sedikit paparan sinar matahari sekitar 10 – 15 menit, dua kali dalam seminggu.

### **Ekskresi dan Absorpsi**

Kulit merupakan organ ekskresi minor bagi sebagian zat, (Vaugh & Grant, 2011) meliputi: natrium klorida dalam keringat, urea pada pasien gangguan fungsi ginjal dan konsumsi makanan tertentu seperti bawang putih dan rempah lainnya. Sekitar 400 ml air /hari menguap melalui keringat. Beberapa substansi tertentu yang larut dalam lemak dapat menembus kulit. Substansi tersebut diantaranya, vitamin yang larut dalam lemak (A, D, E dan K), obat-obat steroid topikal, garam logam berat seperti timbal, merkuri dan arsenik.

**Fungsi Sensorik**

Lapisan epidermis, dermis dan hipodermis mengandung struktur saraf sensorik khusus yang mendeteksi sentuhan, suhu permukaan dan rasa sakit. Reseptor - reseptor tersebut terdiri dari sel Meissner (sel taktil) yang merespon sentuhan ringan, sel Pacinian (sel lamela) yang merespon getaran, badan Krause yang merespon rasa dingin.

# Bab 5

## Struktur dan Fungsi Sistem Muskuloskeletal

### 5.1 Pendahuluan

Sistem *muskuloskeletal* meliputi tulang, sendi, otot, tendon, dan *bursae*. Tulang dan jaringan ikat membentuk sekitar 25% massa tubuh, dan otot sekitar 50% (S. Smeltzer, Bare, J. Hinkle, 2010). Ketika tulang-tulang ini terhubung di tempat lain ia membentuk bingkai yang disebut kerangka. Kerangka adalah tulang kuat yang menopang struktur tubuh, melindungi organ dalam, dan bertindak sebagai titik perlekatan.

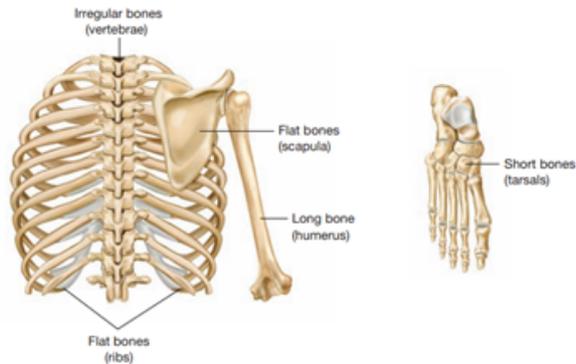
Kerangka melindungi organ-organ penting, termasuk otak, jantung, dan paru-paru. Matriks tulang menyimpan kalsium, fosfor, magnesium, dan fluorida. Lebih dari 99% dari semua kalsium dalam tubuh ada di tulang. Sumsum tulang adalah tempat sel darah diproduksi. Sumsum tulang merah, terletak di rongga tulang, menghasilkan sel darah merah dan putih dalam proses yang disebut *hematopoiesis*.

Sendi adalah tempat di mana dua tulang bertemu dan di satukan oleh ligamen. Ini memberikan kelenturan pada kerangka. Tulang, sendi, dan otot bekerja sama untuk menciptakan sebuah gerakan. Otot yang melekat pada tulang

memungkinkan tubuh untuk bergerak. Kontraksi otot menciptakan gerakan mekanis dan produksi panas untuk mempertahankan suhu tubuh.

## 5.2 Tulang

Tulang disebut jaringan *Osseous*, adalah salah satu bahan yang paling keras di dalam tubuh. Tulang terbentuk dari proses bertahap yang dimulai sebelum lahir yang disebut osifikasi. Model kerangka pertama, terbuat dari tulang rawan, terbentuk di dalam janin. Osteoblas, sel tulang yang belum matang, secara bertahap menggantikan tulang rawan dengan tulang. Di dalam tulang dewasa matur, osteoblas telah matang menjadi osteosit yang berfungsi untuk mempertahankan tulang. Pembentukan tulang yang kuat sangat bergantung pada ketersediaan mineral yang cukup seperti kalsium (Ca) dan fosfor (P).



**Gambar 5.1:** Bentuk-Bentuk Tulang

Beberapa jenis tulang ditemukan di seluruh tubuh. Berdasarkan bentuknya, tulang dibagi menjadi empat kategori (Chruscik, A., Kauter, K., Windus, Loisa., Whiteside, 2021):

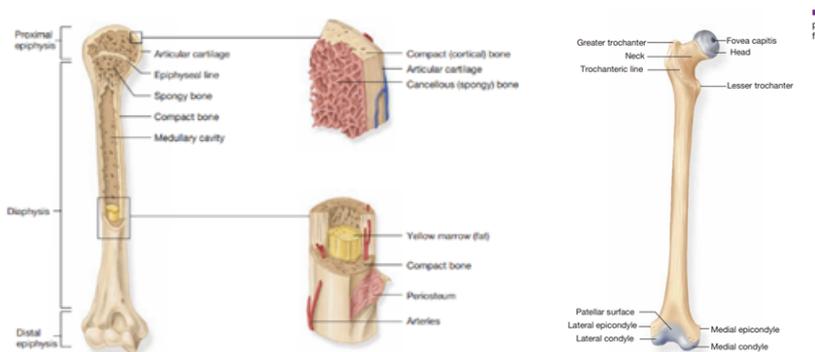
1. tulang panjang;
2. tulang pendek;
3. tulang pipih, dan;
4. tulang tidak beraturan.

Tulang panjang lebih panjang daripada lebarnya; contohnya adalah *femur* dan humerus. Tulang pendek kira-kira sepanjang lebarnya; contoh adalah *karpal* dan *tarsal*. Tulang tidak beraturan mendapatkan namanya karena bentuk tulangnya sangat tidak beraturan; misalnya, tulang belakang. Tulang berbentuk lempengan atau pipih seperti tulang dada, tulang belikat, dan panggul. Mayoritas tulang dalam tubuh manusia adalah tulang panjang. Tulang-tulang ini memiliki struktur serupa dengan poros tengah atau *diaphisis* yang melebar di setiap ujungnya disebut epifisis.

Setiap epifisis ditutupi oleh lapisan tulang rawan yang disebut *artikular* kartilago untuk mencegah tulang bergesekan langsung pada tulang. Permukaan yang tersisa dari setiap tulang ditutupi dengan membran jaringan ikat tipis yang disebut periosteum, yang mengandung banyak pembuluh darah, saraf, dan pembuluh limfatik. Padat dan tulang permukaan luar yang keras disebut tulang *kortikal* atau kompak. *Cancellous* atau kenyal tulang ditemukan di dalam tulang.

Seperti namanya, tulang spons memiliki ruang di dalamnya, memberikan penampilan seperti spons. Ruang-ruang ini berisi sumsum tulang merah, yang memproduksi sebagian besar sel darah dan ditemukan di beberapa bagian dari semua tulang.

Pusat *diaphisis* berisi saluran terbuka yang disebut rongga *medular*. Di awal kehidupan, rongga ini juga berisi sumsum tulang merah, tetapi seiring bertambahnya usia, rongga ini berwarna merah sumsum tulang rongga medula secara bertahap berubah menjadi sumsum tulang kuning, yang terutama terdiri dari sel-sel lemak.



**Gambar 5.2:** Komponen Tulang Panjang

Tulang memiliki banyak tonjolan dan cekungan; ada yang bulat dan halus untuk mengartikulasikan dengan tulang lain dalam sendi. Lainnya kasar untuk memberi otot titik perlekatan.

Beberapa tonjolan tulang yang umum termasuk yang berikut:

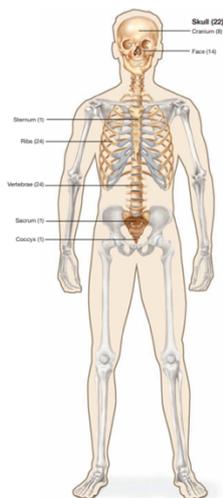
1. Kaput (kepala tulang), halus, ujungnya berbentuk bola terdapat pada tulang panjang. Tulang ini dipisahkan dari tubuh atau batang tulang oleh area sempit yang disebut leher (neck), contoh kaput femoris.
2. Kondilus mengacu pada bagian yang halus dan bulat di ujung tulang.
3. Epikondilus adalah penonjolan yang terletak di atas atau diatas kondilus.
4. Trokanter mengacu pada tonjolan besar dan kasar tempat perlekatan otot, pada umumnya tonjolan ini pada tulang paha.
5. Tuberkulum adalah tonjolan kecil dan kasar yang menjadi tempat perlekatan tendon dan otot.
6. Tuberositas adalah tonjolan besar dan kasar tempat perlekatan tendon dan otot, contoh tuberositas iskiadikum.

Selain itu, tulang memiliki daerah berongga atau cekungan, yang paling umum diantaranya adalah:

1. Sinus: rongga berongga di dalam tulang.
2. Foramen: lubang halus dan bulat untuk saraf dan pembuluh darah, contoh foramen magnum.
3. Fossa: suatu lekukan di dalam atau pada permukaan tulang, contoh fosa supraskapula.
4. Prosesus: bukaan bertipe celah atau taju, contohnya prosesus spinosus.

### **Skeleton**

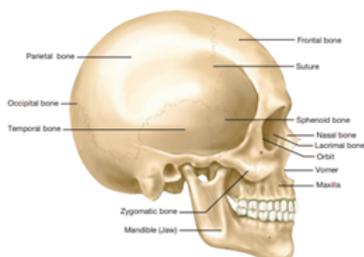
Kerangka manusia memiliki dua divisi (Chruscik, A., Kauter, K., Windus, Loisa, Whiteside, 2021) yaitu rangka aksial dan rangka apendikular. Rangka aksial meliputi tulang kepala (skull), leher, tulang belakang, dada, dan batang tubuh (Gambar 5.3). Tulang-tulang ini membentuk sumbu pusat untuk keseluruhan tubuh dan melindungi banyak organ internal seperti otak, paru-paru, dan jantung.



**Gambar 5.3:** Rangka Aksial

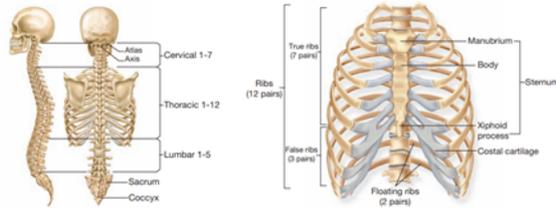
Tengkorak terbagi menjadi dua bagian yang terdiri dari kranium dan tulang wajah. Tulang-tulang ini mengelilingi dan melindungi otak, mata, telinga, rongga hidung, dan rongga mulut dari cedera. Otot untuk mengunyah dan menggerakkan kepala melekat pada tulang tengkorak. Tengkorak membungkus otak dan terdiri tulang frontal, *parietal*, *temporal*, *ethmoid*, *sphenoid*, dan *oksipital*.

Tulang wajah mengelilingi mulut, hidung, dan mata, dan termasuk mandibula, maksila, tulang zygomatikum, vomer, palatum, nasal, dan lakrimal. Tulang tengkorak dan tulang wajah (Gambar 5.4). Tulang hyoid adalah satu tulang berbentuk U yang tergantung di leher antara mandibula dan laring.



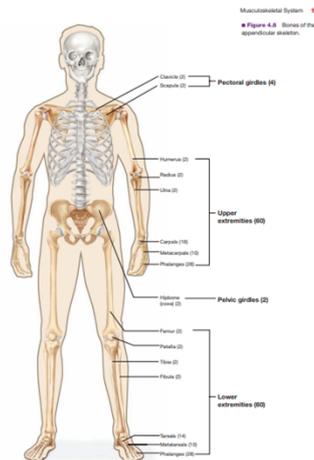
**Gambar 5.4:** Tulang Wajah

Batang tubuh terdiri dari tulang belakang (kolumna vertebralis), tulang dada (sternum), dan tulang rusuk (Coxae). Tulang belakang (kolumna spinalis) dibagi menjadi lima bagian: vertebra servikalis, vertebra torakalis, vertebra lumbalis, vertebra sakralis (tulang saktum), dan vertebra koksigialis (tulang ekor) (Gambar 5.5 dan Tabel 5.2).



**Gambar 5.5:** Kolumna Vertebralis Dan Struktur Tulang Iga

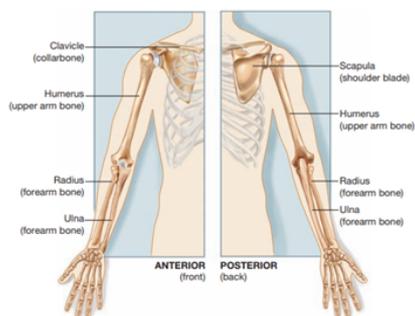
Terletak di antara setiap pasangan tulang belakang, dari daerah serviks hingga *lumbar* adalah diskus *intervertebralis*. Setiap diskus terdiri dari kartilago fibrosis sebagai bantalan di antara tulang belakang. Tulang rusuk memiliki 12 pasang, masing-masing menempel di *kolumna vertebralis* dimana sepuluh pasang juga melekat pada tulang dada depan (Gambar 5.6) dan dua pasang disebut tulang melayang (*floating ribs*) dan hanya melekat pada tulang belakang. Tulang rusuk berfungsi untuk memberikan dukungan organ tubuh seperti jantung dan paru-paru.



**Gambar 5.6:** Bones of the Appendicular Skeleton

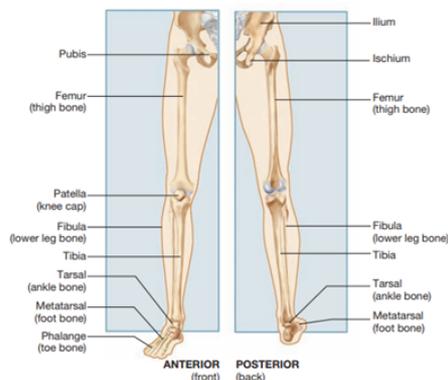
Kerangka apendikular terdiri dari korset dada, ekstremitas atas, tulang panggul (Coxae), dan ekstremitas bawah (Gambar 5.6). Kerangka ini merupakan tulang pelengkap atau anggota tubuh kita dan bersama-sama dengan otot yang melekat padanya mereka bertanggung jawab untuk gerakan tubuh.

Pelindung dada terdiri dari tulang klavikula dan tulang belikat (skapula). Tulang ekstremitas atas meliputi humerus, ulna, radius, karpal, metakarpal, dan phalagus (Gambar 5.7).



**Gambar 5.7:** Extremitas Atas

Tulang panggul disebut *os coxae* atau tulang *inominata* atau tulang pinggul. Tulang ini terdiri dari *ilium*, *iskium*, dan *pubis*. Tulang ini berartikulasi dengan sakrum posterior untuk tempat menempelnya ekstremitas bawah, atau kaki, ke rangka aksial. Tulang ekstremitas bawah terdiri dari tulang femur, patela, tibia, *fibula*, *tarsal*, *metatarsal*, dan *falangus* (Gambar 5.8) (Belleza, 2023) .

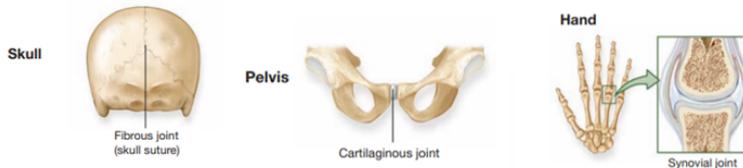


**Gambar 5.8:** Anatomi Tulang Ekstremitas Bawah

## 5.3 Sendi

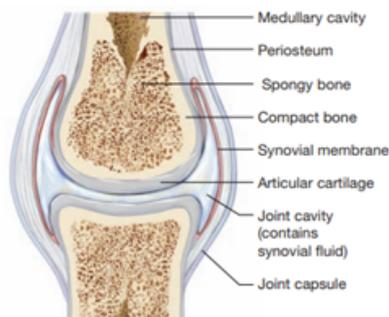
Sendi terbentuk ketika dua atau lebih tulang bertemu atau disebut juga sebagai artikulasi. Ada tiga jenis sendi berdasarkan jumlah gerakannya (Paulsen, F and Waschke, 2011) yaitu sendi *sinovial*, sendi kartilago, dan sendi fibrous (Gambar 5.11). Sebagian besar terdiri dari sendi *sinovial* yaitu sendi yang bergerak bebas (Gambar 5.9), di dalam kapsul sendi (caput sendi). Kapsul sendi dilapisi oleh membran *sinovial*, yang mengeluarkan cairan *sinovial* untuk melumasi sendi, ujung tulangnya ditutupi oleh lapisan tulang rawan *artikular*. Tulang rawan ini sangat keras, tapi masih fleksibel.

Tulang ini berfungsi menahan tingkat stres yang tinggi untuk bertindak sebagai kejutan penyerap untuk sendi dan mencegah tulang bergesekan dengan tulang lainnya. Tulang rawan ditemukan di beberapa area tubuh lainnya, seperti septum nasi (sekat hidung), telinga luar, tuba *eustachius*, laring, trakea, bronkus, dan diskus *intervertebralis*. Salah satu contoh sendi *sinovial* adalah sendi putar yang ditemukan di sendi bahu dan sendi pinggul. Beberapa sendi *sinovial* mengandung bursa, yang merupakan struktur seperti kantung jaringan ikat dan dilapisi membran *sinovial*.



**Gambar 5.9:** Beberapa Contoh Sendi Yang Ditemukan Pada Tubuh Manusia.

Sendi ini paling sering ditemukan antara tulang dan ligamen atau tendon, bursa berfungsi untuk mengurangi gesekan. Beberapa lokasi bursa yang umum adalah sendi siku, lutut, dan bahu. Sendi fibrosa hampir tidak ada gerakan karena ujung-ujung tulang disatukan oleh jaringan fibrosa yang tebal, yang bahkan bisa menyatu dengan tulang padat. (contoh sutura di tengkorak). Sendi kartilago memungkinkan untuk sedikit gerakan tetapi menahan tulang dengan kuat di tempatnya dengan potongan yang kokoh dari tulang rawan. Contoh sendi jenis ini adalah simfisis pubis.



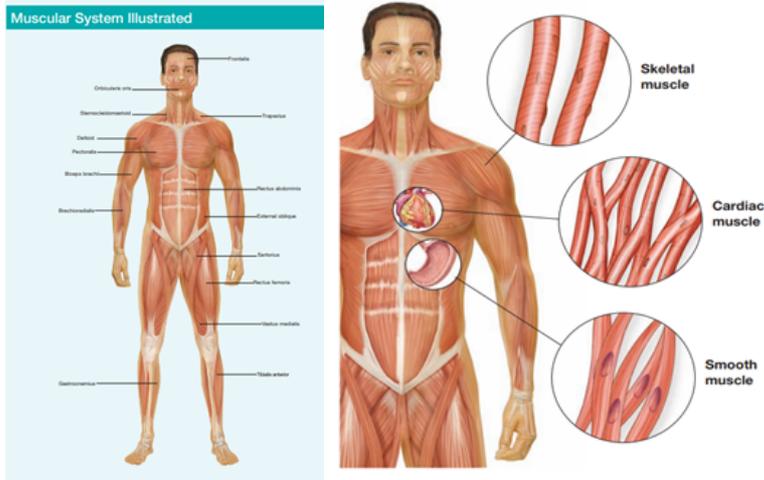
**Gambar 5.10:** Struktur Sendi Sinovial

## 5.4 Otot

Otot adalah kumpulan, lembaran, atau cincin jaringan yang menghasilkan gerakan dengan cara berkontraksi dan menarik struktur tempat mereka melekat (S. Smelzer, B. Bare, J. Hinkle, 2010). Otot adalah kumpulan serat jaringan otot paralel. Saat serat-serat otot berkontraksi (memendek panjang) maka akan menghasilkan sebuah gerakan dari atau di dalam tubuh. Gerakannya mungkin mengambil bentuk mendekatkan dua tulang, mendorong makanan melalui sistem pencernaan, atau memompa darah melalui pembuluh darah. Selain menghasilkan gerakan, otot juga menahan tubuh tegak dan menghasilkan panas.

### 5.4.1 Jenis-Jenis Otot

Tiga jenis jaringan otot (Paulsen, F and Waschke, 2011) adalah otot rangka, otot polos, dan otot jantung (Gambar 5.11). Jaringan otot bersifat disadari atau tidak disadari. Otot disadari adalah otot-otot yang secara sadar dipilih seseorang untuk berkontraksi dan untuk berapa lama dan seberapa kuat kontraksi mereka. Contoh otot disadari adalah otot rangka lengan dan kaki. Otot tak sadar adalah otot di bawah kontrol daerah bawah sadar otak. Otot polos ditemukan pada organ dalam dan otot jantung adalah contoh jaringan otot tak sadar.

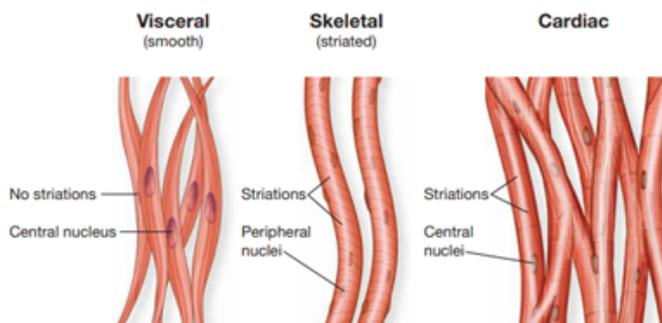


**Gambar 5.11:** Sistem Muskular dan Otot Rangka

Otot rangka secara langsung atau tidak langsung melekat pada tulang dan menghasilkan gerakan disadari dari kerangka. Otot rangka disebut juga sebagai otot lurik karena penampilan bergaris di bawah mikroskop (Gambar 5.11). Setiap otot dibungkus dalam lapisan jaringan ikat fibrosa yang disebut fasia. Fasial mengecil pada setiap ujung otot rangka membentuk tendon yang sangat kuat. Tendon kemudian menyisipkan ke dalam periosteum yang menutupi tulang untuk menempelkan otot ke tulang. Otot rangka dirangsang oleh neuron motorik dari sistem saraf. Titik di mana saraf motorik menghubungi serat otot disebut *myoneural* persimpangan jalan.

Otot polos disebut juga otot visceral. Jaringan otot polos ditemukan berhubungan dengan organ dalam. Oleh sebab itu disebut sebagai otot visceral. Nama otot polos mengacu pada penampilan di mikroskopis dimana otot tersebut tidak memiliki serat seperti otot rangka (lihat Gambar 5.11). Otot polos terdapat pada dinding organ berongga, seperti perut, organ berbentuk tabung, seperti saluran pernapasan, dan pembuluh darah. Otot ini bertanggung jawab atas aksi otot tak sadar yang terkait dengan gerakan organ dalam, seperti mengaduk makanan, *vesokonstriksi* pembuluh darah dan kontraksi rahim.

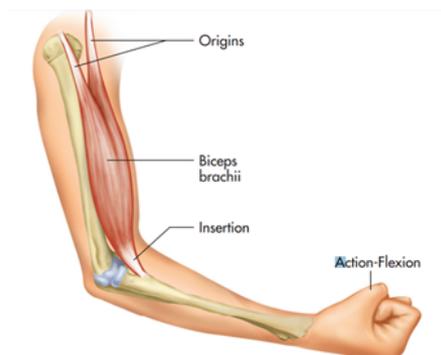
Otot jantung, atau miokardium membentuk dinding jantung (lihat Gambar 5.12). Setiap kontraksinya tanpa disengaja (involunter), jantung berkontraksi untuk memompa darah keluar dari biliknya dan melalui pembuluh darah.



**Gambar 5.12:** Jenis-Jenis Otot

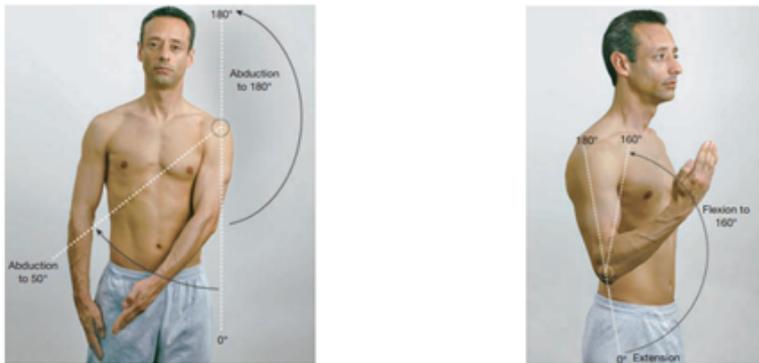
### 5.4.2 Aksi Otot Rangka

Otot rangka melekat pada dua tulang yang berbeda dan tumpang tindih dengan sendi. Kapan otot berkontraksi, kedua tulang bergerak, tetapi biasanya tidak sama. Kurang bergerak dari dua tulang dianggap sebagai titik awal dari otot dan disebut *origo* (origin). Tulang yang lebih dapat digerakkan dianggap sebagai tempat otot berakhir dan disebut insersi (Gambar 5.13).



**Gambae 5.13:** Otot Insersi dan Origo

Jenis Gerakan dihasilkan otot disebut aksi. Otot sering diatur di sekitar sendi dalam pasangan *antagonistik*, artinya mereka menghasilkan tindakan yang berlawanan. Misalnya, satu otot akan membengkokkan sendi sementara antagonisnya bertanggung jawab untuk meluruskan sendi. Beberapa terminologi umum untuk aksi otot dijelaskan dalam gambar 5.14.



**Gambar 5.14:** Abduksi dan Adduksi Pada Sendi Bahu



**Gambar 5.15:** Dorsifleksi (A) dan Plantar Fleksi (B) Pada Sendi Kaki

# **Bab 6**

## **Struktur dan Fungsi Sistem Sensori**

### **6.1 Pendahuluan**

Sensori adalah stimulus atau rangsangan yang datang dari dalam maupun luar tubuh. Sistem sensoris adalah sistem pengantaran rangsangan dari reseptor ke sistem saraf pusat. Sistem sensorik atau yang juga disebut panca indera bekerja secara spesifik dalam mendeteksi rangsang tertentu.

Sebagai contoh, mata hanya bisa menangkap rangsang cahaya dan warna, sedangkan lidah hanya bisa menerima rangsangan kimia dari makanan atau zat yang masuk ke dalam mulut. Seluruh rangsangan akan diterima oleh tubuh melalui reseptor, kemudian dikirim ke saraf tepi, menuju saraf tulang belakang, dan terakhir ke otak. Tubuh memiliki banyak reseptor dan masing-masing memiliki tugas dan fungsinya sendiri (Lauralee S, 2012).

Ada lima jenis persepsi yaitu persepsi visual oleh mata, persepsi auditori oleh telinga, persepsi perabaan oleh kulit, persepsi penciuman oleh hidung dan persepsi pengecapan oleh lidah. Persepsi yang kita miliki meliputi tekstur, warna, suara, hangat, bau, dan rasa ditimbulkan oleh otak akibat adanya impuls elektrokimiawi pada sel saraf yang dihantarkan ke otak dari reseptor sensori.

Reseptor ini mengubah atau mentransduksi berbagai energi yang ada di dunia nyata menjadi energi impuls untuk dihantarkan ke sistem saraf pusat oleh sel-sel saraf sensori sehingga kita dapat melihat pemandangan pantai yang indah, mencicipi makanan yang sangat lezat, mencium berbagai aroma parfum, dan aktivitas-aktivitas persepsi lainnya yang kita miliki (Evelyn, 2016).

Menurut Fox (2013), ada empat macam reseptor sensori menurut tipe energi stimulus yang di transduksinya, yaitu:

1. Kemoreseptor, adalah reseptor stimulus berupa zat-zat kimia yang ada di lingkungan atau darah (papil pengecap, epitel olfaktori, aorta, dan badan carotid).
2. Fotoreseptor, merupakan sel-sel kerucut dan sel-sel batang pada retina mata.
3. Termoreseptor, merupakan sel yang peka terhadap kondisi panas dan dingin (badan Crausse dan badan Ruffini pada kulit).
4. Mekanoreseptor, adalah sel yang cara kerjanya distimulasi oleh adanya perubahan bentuk mekanik dari reseptor membran sel (reseptor sentuhan dan tekanan pada kulit serta sel rambut pada bagian dalam telinga).

Reseptor sensoris mempunyai kemampuan mendeteksi stimulus dan mentransduksi energi fisik yang diterima dari organ indera ke dalam sinyal (impuls) saraf untuk dihantarkan ke sistem saraf pusat oleh sel-sel saraf sensori (Reseptor adalah molekul protein yang menerima sinyal kimia dari luar sel. Ketika sinyal kimia semacam itu berikatan dengan reseptor, mereka menyebabkan beberapa bentuk respons seluler/jaringan, misalnya perubahan aktivitas listrik sel.

Sensoris adalah pengantaran rangsangan dari perifer (reseptor) ke sistem saraf pusat (otak). Reseptor sensorik dikhususkan untuk merespons bentuk energi tertentu namun karena banyaknya variasi energi maka terdapat banyak reseptor yang berbeda (Ganong, 2014).

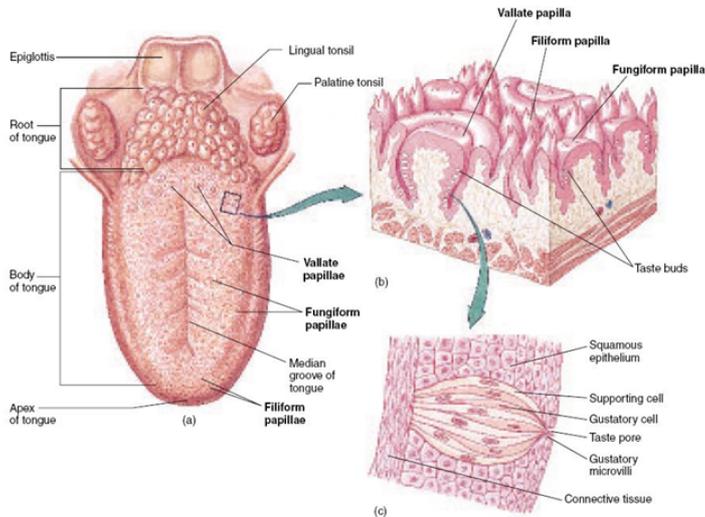
## 6.2 Struktur dan Fungsi Lidah

Lidah termasuk organ yang isinya sekumpulan otot tetapi bisa bergerak dengan leluasa. Lidah terletak di dalam rongga mulut dan sebagian berada di tenggorokan bagian atas. Lidah merupakan organ yang dilapisi selaput lendir dan terlihat kasar. Namun tekstur dari permukaan lidah yang kasar ini terdiri dari banyak benjolan kecil disebut papila, lidah adalah indera pengecap manusia dapat mengecap rasa (Evelyn, 2016).

Lidah merupakan salah satu organ yang memiliki reseptor sensori *kemorestor*. Organ ini yang mempunyai hubungan yang sangat erat dengan indera pengecap dan pembau. Lidah terletak di dasar mulut, sementara pembuluh-pembuluh darah dan urat saraf masuk dan keluar pada akarnya. Pada ujung serta pinggiran lidah bersentuhan dengan gigi-gigi bawah. Di bagian posteriornya terdapat struktur ligamen halus (*frenulum linguae*) yang mengaitkan bagian tersebut pada dasar mulut.

Sedangkan di bagian anterior lidah bebas tidak terkait. Bila lidah dijulurkan, ujung lidah akan meruncing dan bila terletak tenang di dasar mulut, maka ujung lidah akan membulat. Lidah yang sehat dapat dilihat pada selaput lendir lidah selalu lembab dan berwarna merah jambu (Irianto, 2012).

Pada lidah mamalia terdapat reseptor untuk rasa. Reseptor ini peka terhadap stimulus dari zat-zat kimia, sehingga disebut *kemoreseptor*. Reseptor tersebut adalah kuncup-kuncup pengecap. Kuncup tersebut berbentuk seperti bawang kecil atau piala dan terletak di permukaan *epitelium* pada permukaan atas lidah. Kadang juga dijumpai pada langit-langit rongga mulut, faring dan laring, walaupun sedikit sekali (Lauralee S, 2012).



**Gambar 6.1:** Lidah (a) Permukaan Lidah, (b) Taste Bud, (c) Gustatory Cell (Kent Van The Graaff, 2001)

Menurut Guyton (2019), permukaan atas lidah ditutupi oleh papila-papila yang mempunyai kepekaannya sendiri. Papila merupakan ujung dari saraf pengecap, tonjolan-tonjolan kecil ini terhubung dengan saraf di otak. Papila memungkinkan kita dapat merasakan berbagai macam rasa jika sedang mengonsumsi makanan, seperti asam, pahit, asin, manis hingga gurih. Papila memiliki jumlah berbeda di setiap orang, seseorang akan merasa lebih peka terhadap kedalaman dan variasi rasa jika jumlah papilanya banyak.

Terdapat tiga jenis papila yaitu:

1. Papila filiformis (fili=benang), berbentuk seperti benang halus dan berada di dorsum linguae menyebar pada seluruh permukaan lidah.
2. Papila sirkumvalata (sirkum=bulat); berbentuk bulat, tersusun seperti huruf v di belakang lidah.
3. Papila fungiformis (fungi=jamur), berbentuk seperti jamur, berada di depan lidah (apex linguae) serta menyebar pada permukaan ujung dan sisi lidah.

Pada bagian dalam papila terdapat kuncung pengecap (taste buds). Terdapat empat rasa dasar yang bisa lidah rasakan, yakni manis, asam, pahit, dan asin.

Selain itu, ada juga rasa lain yang bisa manusia rasakan menurut penelitian terbaru tentang rasa, ada satu terbaru yaitu rasa *umami*. Berbagai sensasi rasa tersebut bisa di rasakan berkat adanya reseptor kecil yang terdapat pada kuncup pengecap (taste buds).

Untuk dapat merasakan cita rasa suatu makanan, makanan harus menjadi cair serta benar-benar bersentuhan dengan ujung saraf yang mampu menerima rangsangan yang berbeda-beda. Puting pengecap yang berbeda-beda akan menimbulkan kesan rasa yang berbeda-beda juga. Adaptasi dari rasa kecap mula-mula akan berlangsung cepat dalam 2-3 detik, kemudian adaptasi berjalan lambat.

Reseptor ini terletak hampir di seluruh bagian rongga mulut, terutama lidah, langit-langit mulut, dan belakang kerongkongan. Jumlah rata-rata sel pengecap pada orang dewasa adalah 10.000 kuncup pengecap yang dapat memperbaharui diri setiap dua minggu. Intensitas sel-sel dalam kuncup pengecap untuk memperbaharui diri akan semakin melambat seiring bertambahnya usia seseorang (Lauralee Sherwood, 2012).

Menurut Ganong (2014), rasa asam terjadi karena reseptor rasa asam (kecut) dirangsang oleh ion  $H^+$ , bukan anion yang terkait. Untuk setiap rasa asam biasanya setara dengan konsentrasi  $H^+$  yang terkandung dalam bahan, tetapi asam-asam organik sering lebih asam daripada asam mineral dengan konsentrasi  $H^+$  yang sama. Hal ini disebabkan oleh karena asam organik lebih cepat menembus sel daripada asam mineral.

Rasa asin dihasilkan oleh adanya ion  $Na^+$ . Ada beberapa senyawa organik juga terasa asin, misalnya *dipeptida lisiltaurin* dan *orniltaurin* terasa asin, dan berdasarkan beratnya, *lisiltaurin* lebih kuat daripada  $NaCl$ . Untuk menguji rasa manis bahan yang sering digunakan sebagian besar rasa adalah bahan organik seperti sukrosa, maltosa, laktosa, glukosa, serta bahan lain seperti polisakarida, gliserol, kloroform, dsb.

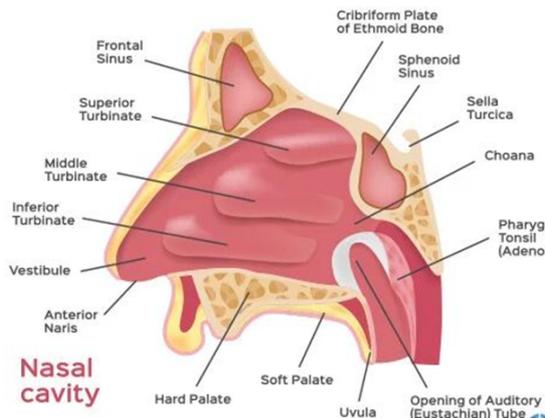
Untuk menguji rasa pahit, bahan yang sering digunakan adalah kina sulfat yang disebabkan oleh adanya kation. Rasa kelima, adalah rasa yang terbaru yaitu rasa *umami*. Rasa *umami* ditimbulkan dari kandungan glutamat, asam amino yang banyak terdapat pada protein daging, ikan, dan legum (Ganong, 2014). Mekanisme perangsangan *taste bud* terjadi pada saat membran sel pengecap (mempunyai muatan negatif) kemudian zat pengecap menyentuh rambut pengecap sehingga hilang sebagian potensial negatif (terjadi potensial reseptor untuk pengecap).

Hal ini selanjutnya menyebabkan terikatnya zat kimia pengecap pada molekul reseptor protein yang akan membuka kanal ion, sehingga ion  $\text{Na}^+$  masuk ke dalam sel. Selanjutnya terjadilah depolarisasi secara bertahap yang kemudian akan dibersihkan oleh saliva untuk menghilangkan rangsangan (Guyton, 2019).

Menurut Lauralee Sherwood, (2012), untuk dapat meningkatkan nafsu makan seseorang kerja sama antara indera pengecap dan pembau sangat diperlukan. Produksi kelenjar saliva juga dapat mempengaruhi nafsu makan, bila aroma makanan itu sedap dan rasanya lezat, maka nafsu makan seseorang akan meningkat, dan produksi saliva juga akan meningkat untuk ditelan.

## 6.3 Struktur dan Fungsi Hidung

Hidung adalah organ penciuman yang terletak di tengah-tengah wajah. Hidung berfungsi untuk menghirup udara pernapasan, menyaring udara, menghangatkan udara pernapasan, juga berperan dalam resonansi suara. Anatomi bagian eksternal hidung terdiri atas batang hidung, sayap hidung, pangkal hidung, puncak hidung, lubang hidung dan sekat hidung atau kolumela.



**Gambar 6.2:** Hidung (Kent Van De Graaff, 2001)

Hidung juga merupakan alat indra penciuman yang mengandung *kemoreseptor* sehingga dapat menanggapi rangsang berupa bau atau zat kimia yang berupa gas. Terdapat sekitar 10-20 juta sel pembau beserta serabut saraf pembau yang dilengkapi dengan sel-sel pembau, di dalam rongga hidung. Setiap sel pembau

mempunyai rambut-rambut halus (silia olfaktori) di ujungnya dan diliputi oleh selaput lendir yang berfungsi sebagai pelembab rongga hidung (Abdullah, 2007).

Hidung merupakan organ penciuman yang memiliki reseptor sensorik *kemoreseptor* seperti halnya lidah. Hidung dan lidah memiliki kaitan yang erat dengan fungsi saluran cerna, namun secara anatomis agak berbeda. Pada hidung reseptor penciuman merupakan reseptor jarak jauh (*teleseptor*), jalur penciumannya tidak memiliki penyambung di *thalamus*, dan tidak terdapat daerah proyeksi *neokorteks* untuk penciuman. Sedangkan pada lidah, jalur pengecapannya berjalan melewati batang otak ke *thalamus* dan berproyeksi ke girus *postsentralis* bersama dengan jalur untuk sensibilitas sentuh dan tekan dari mulut (Lauralee S, 2012).

Proses penciuman terjadi pada saat kita bernapas, zat kimia yang berupa gas ikut masuk ke dalam hidung. Zat kimia yang merupakan sumber bau akan dilarutkan pada selaput lendir, kemudian akan merangsang rambut-rambut halus pada sel pembau. Sel pembau akan meneruskan rangsang ini ke otak untuk diolah sehingga bisa mengetahui jenis bau dari zat kimia tersebut.

Di dalam rongga hidung, udara mengalami penyesuaian temperatur dan kelembaban. Proses ini dilakukan melalui sekat rongga hidung (*concha nasalis*). Di suatu rongga hidung (kiri atau kanan) terdapat 3 buah *conchae* yang membagi rongga tersebut menjadi 3 bagian. Pada saat melewati *conchae*, udara akan disesuaikan terhadap temperatur panas atau dingin. Udara yang terlalu panas akan diturunkan temperaturnya dan yang terlalu dingin akan dihangatkan (Wibowo, 2006).

Setiap sel saraf bipolar memiliki satu *dendrit* yang menembus masuk ke rongga hidung dan terdapat *knob* yang bersilia di ujungnya. *Dendrit* pada sel saraf sensori ini memiliki protein reseptor *olfaktori* pada siliannya yang berfungsi untuk mengikat dan menangkap molekul bau yang berupa uap (Fox, 2013).

Proses penciuman terjadi pada saat kita bernapas, zat kimia yang berupa gas ikut masuk ke dalam hidung. Zat kimia yang merupakan sumber bau akan dilarutkan pada selaput lendir, kemudian akan merangsang rambut-rambut halus pada sel pembau. Sel pembau akan meneruskan rangsang ini ke otak untuk kemudian diolah menjadi informasi sehingga bisa mengetahui jenis bau dari zat kimia tersebut.

Di dalam rongga hidung, udara mengalami proses penyesuaian temperatur dan kelembaban. Proses ini dilakukan melalui sekat rongga hidung. Di suatu rongga hidung kiri/kanan terdapat 3 buah *konka* yang membagi rongga tersebut menjadi 3 bagian. Pada saat melewati *konka*, udara akan disesuaikan terhadap temperatur panas atau dingin. Udara yang terlalu panas akan diturunkan temperaturnya dan yang terlalu dingin akan dihangatkan (Wibowo, 2006).

Fisiologi hidung adalah untuk menerima rangsangan bau-bauan yang dirangsang oleh gas yang terhirup. Rasa pembauan ini sangat peka dan kepekaannya mudah hilang bila dihadapkan pada suatu bau yang sama dalam waktu yang cukup lama. Rasa pembauan ini juga dapat diperlemah bila selaput lendir sangat kering, sangat basah dan membengkak (pilek atau flu). Bau-bauan dilukiskan sebagai bau harum dan bau busuk (Lauralee S, 2012).

Menurut Fox (2013), reseptor yang bertanggung jawab terhadap *olfaksi* atau sensasi bau terletak pada epitel *olfaktori*. *Apparatus olfaktori* terdiri atas sel-sel reseptor (sel saraf bipolar), sel-sel tiang, dan sel-sel batang. Sel-sel batang akan ber-degenerasi untuk membentuk sel-sel reseptor baru setiap satu atau dua bulan untuk menggantikan sel saraf yang rusak akibat terbukanya dan bersentuhan dengan udara dingin dari lingkungan. Sel-sel tiang merupakan sel epitel yang kaya akan enzim untuk terjadinya oksidasi *hidrofobik*.

Proses adaptasi terhadap bau-bauan mula-mula berjalan cepat dalam 2-3 detik kemudian adaptasi berjalan lambat. Suatu hal yang istimewa dalam pembauan manusia adalah bahwa kita dapat membaui sesuatu walau kadar zat tersebut dalam udara sangat sedikit jumlahnya (Irianto, 2012).

## 6.4 Struktur dan Fungsi Telinga

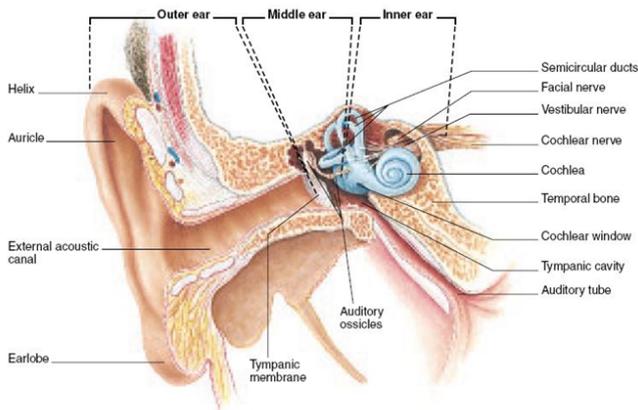
Telinga merupakan organ yang cukup berpengaruh dan penting untuk manusia, yaitu berfungsi sebagai organ pendengaran yang berguna untuk proses komunikasi dan juga sebagai organ keseimbangan. Proses pendengaran memungkinkan seseorang dapat mendengar suara. Proses pendengaran terjadi pada saat suara ditangkap oleh telinga bagian luar, kemudian diteruskan hingga ke bagian lain di dalam telinga dan diproses lebih lanjut hingga menjadi suara.

Anatomi telinga terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian luar, tengah, dan dalam. Pada proses mendengar, ketiga bagian telinga ini akan bekerja secara berkesinambungan. Selain itu, di dalam telinga juga terdapat saluran eustachius

yang berfungsi untuk menjaga tekanan udara agar suara dapat dihantarkan dengan baik ke dalam telinga (Evelyn, 2016).

Menurut Anderson (2008) bagian pendukung dari proses mendengar adalah:

1. Telinga luar berfungsi seperti corong yang berfungsi untuk mengumpulkan gelombang suara dan menyalurkannya hingga ke gendang telinga. Telinga luar terdiri dari dua bagian, yaitu daun telinga (pinna) dan saluran telinga.
2. Telinga tengah untuk memindahkan getaran suara dari gendang telinga menuju telinga bagian dalam. Ada tiga tulang pendengaran (maleus, incus, dan stapes) yang menyusun telinga tengah dan berfungsi untuk menghantarkan getaran suara.
3. Telinga dalam berfungsi untuk menyalurkan suara ke sistem saraf pusat (otak) dan membantu keseimbangan. Terdapat beberapa bagian di telinga dalam, dua di antaranya adalah koklea dan organ korti. Koklea berfungsi merubah energi/gelombang suara menjadi impuls listrik dan meneruskannya melalui saraf pendengaran ke otak sehingga otak dapat memproses informasi yang terkandung di dalam bunyi tersebut. Pada telinga dalam juga terdapat organ kanalis semi sirkularis yang berfungsi sebagai organ keseimbangan.



**Gambar 6.3:** Telinga (Kent Van The Graaff, 2001)

Ketiga bagian telinga ini saling terkait dan bekerja sama untuk memastikan proses mendengar berlangsung dengan sempurna. Proses awal pendengaran dimulai dengan masuknya suara yang ada di sekitar, berupa getaran atau gelombang, ditangkap oleh telinga bagian luar. Kemudian getaran diteruskan ke saluran telinga sehingga memberi tekanan atau pukulan pada gendang telinga (membran timpani). Ketika gendang telinga bergetar, maka getarannya akan diteruskan ke tulang pendengaran (Guyton, 2019).

Tulang pendengaran akan memperkuat getaran ini dan mengirimkannya ke telinga bagian dalam. Saat mencapai telinga bagian dalam, getaran akan diubah menjadi impuls listrik dan dikirim ke saraf pendengaran pada otak. Otak lalu akan menerjemahkan impuls ini sebagai suara (Evelyn, 2016).

Organ korti, yang terletak di atas membran *basilaris* mengandung sel rambut yang merupakan reseptor suara. Sekitar 30.000 ujung saraf dan sebanyak 16.000 sel rambut di dalam masing-masing koklea tersusun menjadi empat baris sejajar di seluruh panjang membran *basilaris*, dimana satu baris sel rambut dalam dan tiga baris sel rambut luar. Dari permukaan masing-masing sel rambut menonjol sekitar 100 rambut yang dikenal sebagai *stereosilia*. Sel rambut menghasilkan sinyal saraf jika permukaan rambut mengalami perubahan bentuk secara mekanik akibat gerakan cairan di telinga dalam (Irawati, 2012).

Sel rambut dalam dan luar adalah sel yang berperan penting pada perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Sel rambut dalam berfungsi sebagai *mekanoreseptor* utama yang mengirimkan sinyal saraf ke neuron pendengaran ganglion spiral dan pusat pendengaran, sedangkan fungsi sel rambut luar mempertajam puncak gelombang berjalan dengan meningkatkan aktivitas membran *basilaris* pada frekuensi tertentu. Peningkatan gerakan sel rambut ini disebut *cochlear amplifier* yang menjadikan telinga lebih sensitif dan mampu mendeteksi suara yang lemah (Rachman dan Purnami, 2014).

Sel rambut dalam pada koklea adalah sel yang berfungsi mengubah gaya mekanik suara (getaran cairan koklea) menjadi *impuls* listrik pendengaran (potensial aksi) yang akan menyampaikan pesan pendengaran ke korteks serebri. Sel rambut bagian dalam berhubungan melalui suatu *sinaps* kimiawi dengan ujung serat-serat aferen yang membentuk *nervus auditorius* (koklearis) (Irawati, 2012).

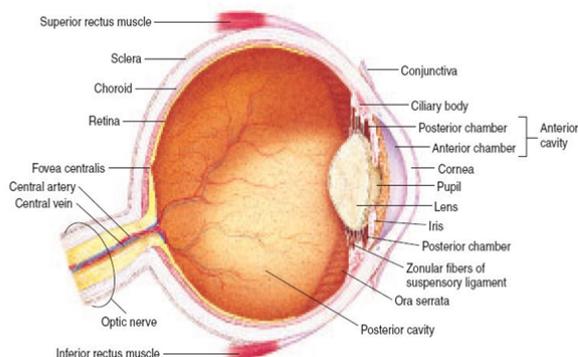
Telinga bagian dalam juga berfungsi sebagai pengatur keseimbangan tubuh manusia. Sendi, otot, mata dan kulit ikut juga dalam menjaga keseimbangan. Otak menerima, menafsirkan, serta memproses informasi dari semua sistem ini

menghasilkan keseimbangan tubuh. Bagian di telinga dalam yang mengatur keseimbangan sering disebut sistem vestibula. Sistem ini terdapat di telinga bagian dalam di mana *kanalis semisirkularis* berkumpul, dekat ke koklea. Sistem vestibula bekerja bersama dengan sistem penglihatan untuk melihat benda-benda ketika kepala bergerak (Evelyn, 2016).

Sistem vestibula menggunakan jenis cairan dan sel pendeteksi yang sama (sel rambut) seperti yang digunakan koklea, dan mengirimkan informasi ke otak tentang sikap, rotasi, dan gerakan linear kepala. Jenis gerakan atau sikap yang terdeteksi oleh sel rambut pada sistem vestibula tergantung pada struktur mekaniknya, seperti tabung melengkung dari saluran setengah lingkaran atau kristal kalsium karbonat (otolit) dari sakula dan utrikulus (Nugroho, 2009).

## 6.5 Struktur dan Fungsi Mata

Mata adalah salah satu organ indera yang terdapat pada manusia yang berfungsi untuk menerima informasi dalam bentuk visual.. Mata secara konstan dapat menyesuaikan pada jumlah cahaya yang masuk, memusatkan perhatian pada objek yang dekat dan jauh serta menghasilkan gambaran yang kontinu yang dengan segera di hantarkan pada otak. Setiap mata memiliki sebuah lapisan reseptor, sebuah lensa yang memfokuskan cahaya ke reseptor tersebut, dan sebuah sistem saraf yang menghantarkan impuls listrik (potensial aksi) dari reseptor ke otak (Ganong, 2014).



**Gambar 6.4:** Pemotongan Sagital Bola Mata (Kent Van De Graaff, 2001)

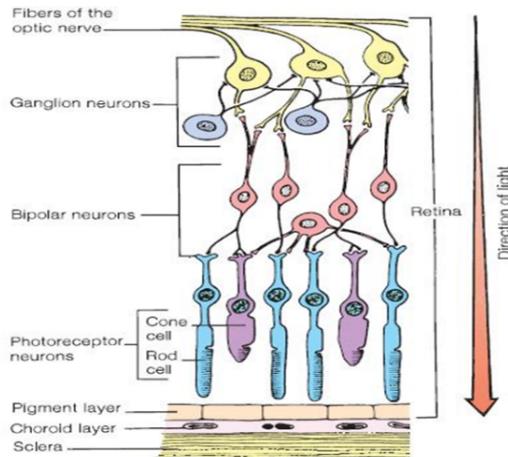
Mata berbentuk seperti bola, sehingga sering disebut bola mata. Bola mata terletak di dalam rongga mata. Dinding rongga mata itu adalah tulang tengkorak yang sangat keras. Hal ini sangat penting untuk melindungi mata yang lunak. Bagian dari alat penglihatan beserta kelengkapannya adalah bola mata, otot-otot penggerak bola mata, kelopak mata, dan kelenjar air mata (Irianto, 2012).

Menurut Kimball (1983), mata manusia memiliki tiga lapisan, yaitu:

1. Lapisan luar atau lapisan *sklera* yang sangat kuat. Lapisan ini membentuk bagian paling luar mata, yaitu kornea. Kornea adalah lapisan bening atau jernih yang berfungsi menerima cahaya masuk ke bagian dalam mata dan membelokkan berkas cahaya sedemikian rupa sehingga dapat difokuskan. Permukaan kornea akan selalu tetap basah dan bebas debu karena adanya sekresi dari kelenjar air mata.
2. Lapisan tengah mata, yaitu lapisan koroid, lapisan ini mengandung pigmen dengan adanya melanin dan terdapat banyak pembuluh darah. Lapisan ini berfungsi untuk menghentikan refleksi berkas cahaya yang menyimpang di dalam mata. Pada bagian depan mata, lapisan koroid membentuk iris. Iris juga dapat berpigmen dan bertanggung jawab terhadap warna mata. Iris dapat membuka dan menutup, bagian di tengah iris disebut pupil. Besarnya bukaan ini bermacam-macam dan dikendalikan secara otomatis. Pada saat cahaya sedikit (saat ada bahaya), pupil membesar agar cahaya yang masuk ke mata menjadi lebih banyak. Pada cahaya terang, pupil mengecil. Hal ini tidak saja melindungi bagian dalam mata dari penerangan yang berlebihan, tetapi juga memperbaiki kemampuan pembentukan bayangan dari kedalaman medan.
3. Lapisan dalam mata adalah retina. Retina terdiri atas reseptor cahaya yang sesungguhnya, yaitu sel batang dan sel kerucut yang tersusun rapat tepat di bawah permukaan retina.

Sel kerucut, kira-kira sekitar 15.000 pada setiap milimeter persegi di satu daerah retina, yaitu fovea, suatu daerah tepat di seberang lensa. Berbeda dari batang, kerucut hanya bekerja dalam cahaya terang yang membuat kita dapat melihat warna-warna. Setiap macam kerucut mengandung suatu pigmen yang paling baik menyerap salah satu di antara ketiga warna utama, merah, hijau, dan biru.

Secara teori, otak dapat mencampurkan tiga sensasi warna utama untuk membentuk satu dari 17.000 lebih berbagai corak warna yang dapat dibedakan oleh mata yang terlatih dengan baik (Evelyn, 2016).

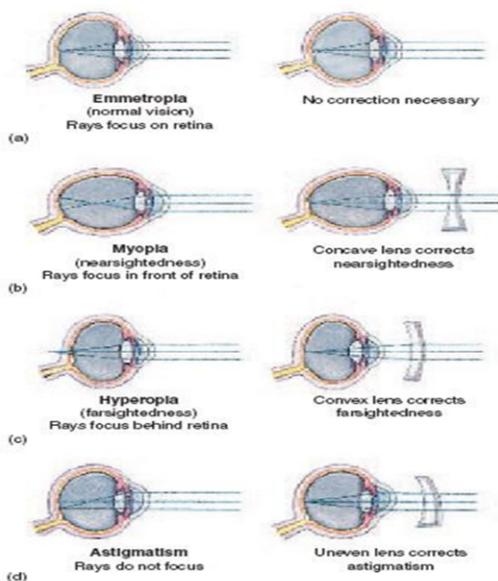


**Gambar 6.5:** Sel Batang dan Sel Kerucut (Kent Van De Graaff, 2001)

Sel batang pada retina kira-kira ada 100 juta batang dalam setiap mata. Sel batang berfungsi untuk penglihatan yang sumber cahayanya kurang dan teramat peka terhadap cahaya. Kelemahan sel batang akan membentuk bayangan yang tidak tajam. Sel batang bekerja bersama-sama dalam kelompok, dengan kata lain, sejumlah sel batang berbagi satu rangkaian saraf ke otak. Satu sel batang dapat mengawali impuls dalam rangkaian tersebut tetapi otak tidak mungkin untuk menentukan sel batang mana dalam kumpulan itu yang terlibat. Agar cahaya dapat diserap, harus ada bahan penyerap cahaya, yaitu suatu pigmen pada sel batang yaitu rodopsin, suatu jenis protein terkonjugasi (Lauralee. S, 2012).

Proses melihat pada mata dimulai pada saat objek atau benda memantulkan cahaya yang masuk ke mata dan diterima oleh kornea, pupil, lensa, lalu dipusatkan pada retina. Mekanisme penglihatan pada mata manusia dimulai saat cahaya masuk hingga diterimanya sinyal penglihatan oleh otak. Fisiologi melihat diawali dengan cahaya memantulkan citra objek dan terhantar pada garis lurus menuju mata kemudian cahaya masuk melalui kornea menuju pupil dan diteruskan ke lensa mata. Cahaya pada kornea dan lensa akan dibelokkan (di biaskan) agar dapat difokuskan pada retina. Kemudian sel fotoreseptor pada retina mengonversikan cahaya menjadi gelombang elektrik. Selanjutnya

gelombang elektrik mengalir melalui saraf optik menuju otak., dimana otak akan memproses sinyal-sinyal tersebut menjadi sebuah bayangan (Guyton, 2019).



**Gambar 6.6:** (a) Mata Normal, (b) Miopi, (c) Hipermetropi, (d) Astigmatism (Kent Van De Graaff, 2001)

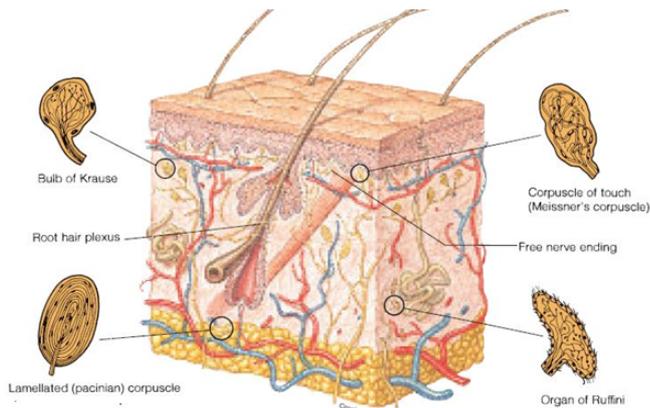
Salah satu gangguan penglihatan dapat disebabkan karena kelainan lensa. Bila melihat objek yang jauh, bayangan akan jatuh di depan retina sehingga menyebabkan kelainan yang dinamakan *miopi*. Keadaan ini harus diperbaiki dengan menggunakan kacamata yang lensanya cekung atau kacamata negatif.

Sebaliknya bila melihat benda yang dekat, bayangan akan jatuh di belakang retina sehingga menyebabkan kelainan penglihatan yang disebut *hipermetropi*. Untuk membetulkan kelainan ini dipergunakan kacamata dengan lensa cembung atau kaca mata positif. Pada usia lanjut, kekenyalan lensa sudah berkurang, hingga akomodasi sudah berkurang kemampuannya. Orang tersebut membutuhkan kacamata dengan lensa cembung untuk membaca. Keadaan penglihatan tersebut dinamakan *presbiopi*. Penglihatan yang normal disebut *emetropi* (Price and Wilson, 2006).

## 6.6 Struktur dan Fungsi Kulit

Kulit adalah salah satu organ di dalam tubuh manusia yang mengandung reseptor sensori *mekanoreseptor*. Mekanoreseptor adalah reseptor yang distimulasi oleh adanya perubahan bentuk mekanik dari reseptor membran sel. Kulit merupakan salah satu organ yang paling luas permukaannya dan membungkus seluruh bagian luar tubuh. Kulit sering disebut juga dengan sistem integumen. Kulit adalah organ tubuh terbesar yang membentuk penghalang fisik antara lingkungan eksternal dan lingkungan internal tubuh yang berfungsi untuk melindungi dan memelihara (Anderson,2008).

Lapisan pada kulit terdiri dari lapisan epidermis, lapisan dermis dan lapisan hipodermis. Pada kulit juga terdapat kelenjar, rambut, dan kuku. Lapisan atas kulit, yang dikenal sebagai epidermis, melindungi tubuh dari bahan kimia berbahaya dan invasi patogen. Pada lapisan paling dalam/dasar kulit terdapat serabut saraf, serabut ini mengirimkan berbagai rangsangan sensorik, seperti suhu panas atau dingin, sentuhan, rabaan, tekanan, nyeri, getaran dan gatal, dari kulit ke sistem saraf pusat. Kulit memiliki banyak fungsi rumit seperti melindungi tubuh, menjaga suhu tubuh, menyimpan lemak, pemeliharaan cairan sel, sintesis vitamin D alami, dan deteksi rangsangan (Evelyn, 2016).



**Gambar 6.7:** Penampang Kulit (Kent Van De Graaff, 2001)

Menurut Evelyn (2016) di dalam permukaan kulit mengandung saraf-saraf yang memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda-beda, saraf pada kulit terdiri dari diantaranya yaitu:

1. Korpuskula Paccini
  - a. Adalah ujung saraf pada kulit yang peka terhadap rangsangan berupa tekanan atau saraf perasa tekanan kuat.
  - b. Ada pada jaringan subkutaneum pada telapak tangan, telapak kaki, jari, puting, periosteum, mesenterium, tendo, ligamen, dan genitalia eksterna.
  - c. Berbentuk bundar atau lonjong dan besar (panjang 2 mm dan diameter 0,5 hingga 1 mm), bentuk yang paling besar dapat dilihat dengan mata telanjang karena bentuknya mirip seperti bawang
2. Korpuskula Ruffini
  - a. Adalah ujung saraf pada kulit yang peka terhadap rangsangan panas.
  - b. Ada pada jaringan ikat termasuk dermis dan kapsula sendi yang memiliki sebuah kapsula jaringan ikat tipis yang mengandung ujung akhir saraf yang menggelembung.
  - c. Terdapat reseptor jenis mekanoreseptor dan bentuknya mirip dengan organ tendon golgi.
3. Korpuskula Meisner
  - a. Adalah ujung saraf perasa pada kulit yang peka terhadap sentuhan.
  - b. Dapat ditemukan pada papila dermis, khususnya pada ujung jari, bibir, puting dan genitalia.
  - c. Memiliki bentuk seperti silindris.
  - d. Memiliki sumbu panjang yang tegak lurus pada permukaan kulit dan berukuran sekitar 80 mikron dan lebarnya sekitar 40 mikron.
4. Korpuskula Krause
  - a. Adalah ujung saraf perasa pada kulit yang peka terhadap rangsangan dingin.
  - b. Dapat ditemukan di daerah mikrokutis (bibir dan genitalia eksterna) pada dermis dan berhubungan dengan rambut.
  - c. Memiliki bentuk bundar (sferis) dengan diameter sekitar 50 mikron.
  - d. Merupakan kapsula tebal yang menyatu dengan endoneurium.

- e. Pada korpuskula ini, serat ber-mielin kehilangan mielin dan cabangnya tetapi tetap diselubungi dengan sel schwann.
  - f. Merupakan serat bercabang atau berjalan spiral dan berakhir sebagai akhir saraf yang menggelembung sebagai gada.
  - g. Jumlahnya dipengaruhi oleh faktor usia, dengan bertambahnya usia jumlahnya semakin berkurang.
  - h. Memiliki fungsi sebagai mekanoreseptor yang peka terhadap dingin.
5. Lempeng Merkel
- a. Adalah ujung perasa sentuhan dan tekanan ringan.
  - b. Terdapat pada permukaan kulit.
  - c. Dapat ditemukan pada lapisan kulit superfisial dan ditemukan kluster dibawah lengkungan ujung-ujung jari yang menyusun sidik jari.
  - d. Pada kulit yang memiliki rambut, ujung saraf Merkel membentuk kluster ke dalam struktur epitelial khusus yang disebut “touch domes” atau “lempeng rambut”.
  - e. Dapat ditemukan juga pada kelenjar mammae.
6. Memiliki ujung saraf tanpa selaput, merupakan ujung saraf perasa nyeri.
7. Memiliki ujung saraf yang keliling rambut, merupakan ujung saraf peraba.

Sensasi pada kulit seperti sentuhan, tekanan, panas, dingin dan nyeri yang ditangkap oleh dendrit yang terdapat di ujung berbagai sel saraf sensoris yang berbeda-beda. Untuk sensasi rasa sentuh difasilitasi oleh adanya dendrit yang mengelilingi folikel rambut dan diperluas oleh ujung dendrit yang disebut badan Ruffini dan piringan/lempeng Merkel.

Untuk sensasi rasa sentuh dan tekanan juga difasilitasi oleh dendrit yang dibungkus dalam struktur yang bervariasi seperti badan Meissner dan badan Pacini. Untuk reseptor rasa panas, dingin, dan sakit terdapat pada ujung dari sel saraf sensoris yang naked (telanjang) atau ujung saraf tanpa selaput (Fox, 2013).



# **Bab 7**

## **Struktur dan Fungsi Sistem Endokrin**

### **7.1 Pendahuluan**

Keseimbangan adalah satu kata kunci yang penting di dalam tubuh manusia untuk mempertahankan fungsi-fungsi tubuh berjalan secara normal melalui mekanisme homeostasis. Siapa yang bertanggung jawab untuk hal itu? Sistem endokrin. Apa itu endokrin? Endokrin merupakan salah satu kelenjar di tubuh manusia yang tidak memiliki saluran pengeluaran, merupakan sistem kelenjar yang memproduksi substansi untuk digunakan di dalam tubuh. Kelenjar endokrin mengeluarkan substansi yang tetap beredar dan bekerja di dalam tubuh.

Sistem endokrin adalah suatu sistem di dalam tubuh manusia yang bertugas untuk melakukan sekresi (memproduksi) hormon yang berfungsi untuk mengatur seluruh kegiatan organ-organ di dalam tubuh manusia sesuai dengan yang dibutuhkan organ tersebut. Hasil sekresi berupa hormon langsung masuk ke dalam pembuluh darah manusia tanpa harus melalui saluran (duktus). Melalui peran hormon-hormon yang spesifik, fungsi tubuh dapat terkontrol dari pengaruh lingkungan dalam dan lingkungan luar sehingga berada pada kondisi yang normal/homeostasis.

Hormon adalah substansi kimia yang disekresi oleh kelenjar endokrin dan disalurkan melalui pembuluh darah atau limfa yang selanjutnya dibawa oleh darah ke sel target. Beberapa hormon mempunyai sedikit sel target yang spesifik atau khusus, tetapi ada hormon yang mempunyai sel target lebih dari satu. Untuk mencapai sel target hormon harus berinteraksi dengan reseptor sel target. Mekanisme hubungan antara hormon dan reseptor sel target memicu reaksi biokimia.

## 7.2 Pengertian Sistem Endokrin

Sistem endokrin adalah sistem kontrol kelenjar tanpa saluran (ductless) yang menghasilkan hormon yang bersirkulasi di tubuh melalui aliran darah untuk memengaruhi organ-organ lain. Hormon bertindak sebagai "pembawa pesan" dan dibawa oleh aliran darah ke berbagai sel dalam tubuh, yang selanjutnya akan menerjemahkan "pesan" tersebut menjadi suatu tindakan. Sistem endokrin tidak memasukkan kelenjar eksokrin seperti kelenjar ludah, kelenjar keringat, dan kelenjar-kelenjar lain dalam saluran gastrointestinal.

Kelenjar endokrin merupakan kelenjar yang tidak mempunyai saluran, yang menyalurkan sekresi hormonnya langsung ke dalam darah. Hormon tersebut memberikan efeknya ke organ atau jaringan target. Beberapa hormon seperti insulin dan tiroksin mempunyai banyak organ target. Hormon lain seperti *kalsitonin* dan beberapa hormon kelenjar hipofisis, hanya memiliki satu atau beberapa organ target.

Sistem endokrin, dalam kaitannya dengan sistem saraf, mengontrol dan mendukung fungsi tubuh. Kedua sistem ini bersama-sama bekerja untuk mempertahankan homeostasis tubuh. Fungsi mereka satu sama lain saling berhubungan, namun dapat dibedakan dengan karakteristik tertentu. Misalnya, medula adrenal dan kelenjar hipofisis posterior yang mempunyai asal dari saraf (neural). Jika keduanya dihancurkan atau diangkat, maka fungsi dari kedua kelenjar ini sebagian diambil alih oleh sistem saraf. Bila umumnya sistem endokrin bekerja melalui hormon, maka sistem saraf bekerja melalui neurotransmitter yang dihasilkan oleh ujung-ujung saraf.

### **Struktur**

Sistem endokrin mencakup organ-organ kelenjar atau sel yang memproduksi hormon. Pada tubuh manusia terdapat dua jenis kelenjar yaitu kelenjar eksokrin

yang memproduksi cairan, enzim dan kelenjar endokrin yang menghasilkan hormon. Kelenjar eksokrin mempunyai saluran dan produksinya langsung pada sasaran, misalnya kelenjar *lakrimalis* atau kelenjar air mata, kelenjar keringat atau sebacea, kelenjar pada rambut, kelenjar pankreas.

Kelenjar endokrin tidak mempunyai saluran atau kelenjar buntu tetapi terdapat banyak pembuluh-pembuluh darah, produksinya berupa hormon yang disalurkan ke pembuluh darah atau limfa, misalnya kelenjar *hypothalamus*, hipofisis, pineal, tiroid, kelenjar adrenal, kelenjar pankreas dan kelenjar gonad.

### Hormon dan Fungsinya

Hormon adalah pembawa pesan kimiawi antar sel yang dilepaskan dan bekerja pada lokasi yang jauh dari tempat pelepasannya (Greenstein dan Wood, 2010). Hormon berfungsi untuk memberikan sinyal ke sel target yang selanjutnya akan melakukan suatu tindakan atau aktivitas tertentu. Perubahan di dalam tubuh manusia yang dikontrol oleh hormon umumnya merupakan perubahan yang memerlukan waktu panjang, seperti contoh: pertumbuhan dan pematangan seksual.

Walaupun masing-masing kelenjar endokrin mempunyai fungsi spesifik yang saling ketergantungan, tetapi bila terjadi over-aktivitas dan under-aktivitas dari salah satu hormon akan berdampak pada seluruh sistem tubuh (Aini dan Aridiana, 2016). Secara kimiawi, hormon dapat dibagi menjadi tiga tipe, yaitu: steroid, protein, dan amina (asam amino sederhana). Mari lihat tabel di bawah ini.

**Tabel 7.1:** Hormon Berdasarkan Unsur Kimianya (Aini dan Aridiana, 2016)

| No | Kimiawi Hormon     | Nama Hormon  |
|----|--------------------|--|
| 1  | Asam amino/protein | Semua hormon hipotalamus<br>Hormon hipofisis anterior dan posterior<br>Hormon pencernaan dan metabolisme<br>Angiotensin II<br>Eritropoetin (dihasilkan ginjal) |
| 2  | Steroid            | Hormon gonadotropin<br>Hormon korteks adrenal  |
| 3  | Amina              | Hormon tiroid<br>Epinefrin<br>Norepinefrin<br>Melatonin  |

Hormon mempunyai sifat sebagai berikut:

1. Aktif dalam jumlah kecil.
2. Bekerja secara lokal (contoh: Prolaktin) ada juga yang bekerja secara general (contoh Thyroxine).
3. Bekerja jauh dari tempat produksi.
4. Dalam sirkulasi darah banyak terikat oleh protein plasma, sehingga tidak aktif. Hormon akan aktif bila bebas dari ikatan protein.
5. Sebagian hormon yang diproduksi oleh tubuh akan dirusak oleh zat anti hormon.

Kerja hormon:

Hormon ada yang bekerja secara sinergis (contoh estrogen dan progesteron terhadap endometrium) ada juga yang bekerja secara antagonis (contoh insulin dan glukagon terhadap kadar gula darah).

Fungsi hormon:

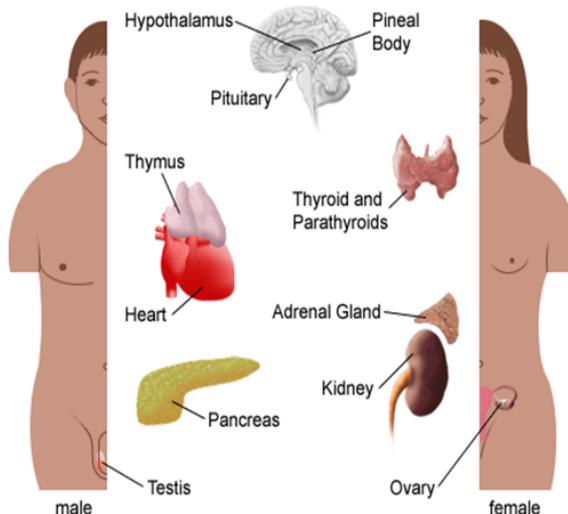
1. membedakan sistem saraf pusat dan sistem reproduktif pada janin yang sedang berkembang;
2. menstimulasi urutan perkembangan;
3. mengkoordinasi dan memelihara sistem reproduktif;
4. memelihara lingkungan internal optimal;
5. melakukan respons korektif dan adaptif ketika terjadi situasi darurat;
6. menghasilkan hormon yang dialirkan ke dalam darah yang diperlukan oleh jaringan dalam tubuh tertentu;
7. mengontrol dan merangsang aktivitas kelenjar tubuh;
8. merangsang pertumbuhan jaringan;
9. mengatur metabolisme, oksidasi, meningkatkan absorpsi glukosa pada usus;
10. memengaruhi metabolisme lemak, protein, hidrat arang, vitamin, mineral, dan air.

## 7.3 Anatomi Fisiologi Sistem Endokrin

Kelenjar endokrin merupakan sekelompok susunan sel yang mempunyai susunan mikroskopis sangat sederhana. Kelompok ini terdiri dari deretan sel-sel, lempengan atau gumpalan sel disokong oleh jaringan ikat halus yang banyak mengandung pembuluh kapiler.

Sistem endokrin, dalam kaitannya dengan sistem saraf, mengontrol dan memadukan fungsi tubuh. Kedua sistem ini bersama-sama bekerja untuk mempertahankan homeostasis tubuh. Fungsi mereka satu sama lain saling berhubungan, namun dapat dibedakan dengan karakteristik tertentu. Misalnya, medula adrenal dan kelenjar hipofisis posterior yang mempunyai asal dari saraf (neural). Jika keduanya dihancurkan atau diangkat, maka fungsi dari kedua kelenjar ini sebagian diambil alih oleh sistem saraf.

Kelenjar endokrin tidak memiliki saluran, hasil sekresi dihantarkan tidak melalui saluran, tapi dari sel-sel endokrin langsung masuk ke pembuluh darah. Selanjutnya hormon tersebut dibawa ke sel-sel target (responsive cells) tempat terjadinya efek hormon. Sedangkan ekskresi kelenjar eksokrin keluar dari tubuh kita melalui saluran khusus, seperti uretra dan saluran kelenjar ludah.



**Gambar 7.1:** Anatomi Sistem Endokrin

Tubuh kita memiliki beberapa kelenjar endokrin. Di antara kelenjar-kelenjar tersebut, ada yang berfungsi sebagai organ endokrin murni artinya hormon tersebut hanya menghasilkan hormon misalnya kelenjar pineal, kelenjar hipofisis/pituitary, kelenjar tiroid, kelenjar paratiroid, kelenjar adrenal *suprarenalis*, dan kelenjar timus.

Adapun fungsi kelenjar endokrin adalah sebagai berikut:

1. menghasilkan hormon yang dialirkan ke dalam darah yang diperlukan oleh jaringan tubuh tertentu;
2. mengontrol aktivitas kelenjar tubuh;
3. merangsang aktivitas kelenjar tubuh;
4. merangsang pertumbuhan jaringan;
5. mengatur metabolisme, oksidasi, meningkatkan absorpsi glukosa pada usus halus;
6. memengaruhi metabolisme lemak, protein, hidrat arang, vitamin, mineral, dan air.

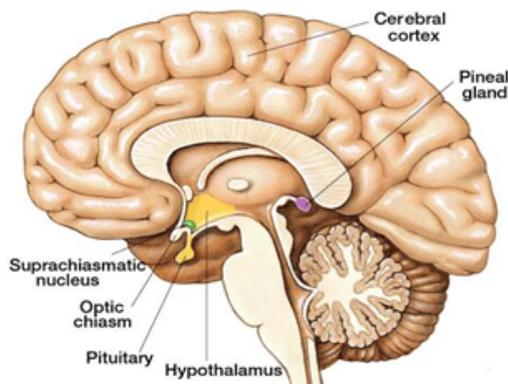
## 7.4 Kelenjar-Kelenjar Endokrin Dalam Tubuh Manusia

### 7.4.1 Kelenjar Pinealis

Kelenjar *pinealis* atau kelenjar *epifise* terdapat di dalam ventrikel otak. Kelenjar ini menonjol dari *mesensefalon* ke atas dan ke belakang *kolikulus superior*. Kelenjar ini berukuran kecil dan berwarna merah seperti cemara. Dari segi struktur, kelenjar *pinealis* dibungkus jaringan ikat *piamater*. Elemen-elemen jaringan ikat membentuk *septasi* dan *lobulasi*.

Komponen seluler utama dari kelenjar ini adalah astrosit dan *pinealosit* (sel epiteloid). Sel-sel jaringan ikat (sel plasma, fibroblas, sel mast, makrofag) juga sering ditemukan. Fungsi dari kelenjar *pinealis* ini belum diketahui secara jelas. Kelenjar ini menghasilkan sekresi *interna* yang berfungsi untuk membantu pankreas serta kelenjar kelamin yang penting untuk mengatur aktivitas seksual serta reproduksi manusia.

Dalam menjalankan fungsinya, kelenjar *pinealis* diatur oleh syarat-syaraf yang ditimbulkan cahaya oleh mata. Kelenjar ini menyekresikan *melatonin*. Hormon *melatonin*; pada remaja hormon ini dihasilkan lebih banyak bila dibandingkan dengan orang dewasa. *Melatonin* merupakan hormon yang berfungsi untuk mengatur irama sirkadian manusia. Hormon ini berperan untuk mengatur rasa kantuk pada diri seseorang.



**Gambar 7.2:** Kelenjar Pinealis

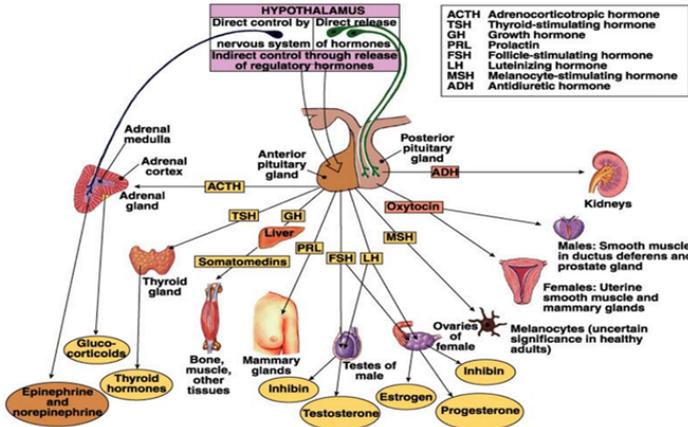
### 7.4.2 Kelenjar Hipofisis (Master Of Gland)

Hipofisis merupakan sebuah kelenjar sebesar kacang polong, yang terletak di dalam struktur bertulang (sela tursika) di dasar otak. Hipofisis mengendalikan fungsi dari sebagian besar kelenjar endokrin lainnya, sehingga disebut kelenjar pemimpin, atau *master of gland*. Kelenjar hipofisis terdiri dari dua lobus, yaitu lobus anterior dan lobus posterior. Lobus anterior disebut *adenohipofisis* karena 70% jaringannya terdiri dari jaringan adenoid, sedangkan *lobus posterior* disebut *neurohipofisis* karena 30% jaringannya terdiri dari jaringan neuron.

Kelenjar hipofisis atau kelenjar pituitari merupakan kelenjar yang terletak di sela *tursika*, pada *konvavitas* berbentuk sadel dari tulang *sphenoid*. Kelenjar hipofisis memiliki ukuran kira-kira 10x13x6 mm serta memiliki berat sekitar 0,5 sampai 1 gram. Bagian superior dari kelenjar hipofisis ini terdapat diafragma *sella*. Diafragma *sella* merupakan suatu perluasan transversal dari duramater. Bagian ini juga merupakan suatu bagian yang ditembus oleh tungkai hipofisis.

Secara fisiologis, kelenjar hipofisis dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu hipofisis anterior (adenohipofisis) serta hipofisis posterior (neurohipofisis).

Antara hipofisis anterior dan hipofisis posterior, terdapat suatu daerah kecil yang disebut sebagai *pars intermedia*.



Gambar 7.3: Kelenjar Hipofisis Anterior dan Posterior

**Lobus Anterior/Adenohypophysis**

Secara embriologis, hipofisis anterior merupakan bagian hipofisis yang berasal dari kantong *rathke*. Kantung *rathke* merupakan suatu invaginasi epitel faring sewaktu pembentukan embrio. Hal ini berbeda dengan hipofisis posterior.

Tabel 7.2: Hormon Pada Lobus Hipofisis Anterior

| Hormon yang Dihasilkan  | Fungsi dan Gangguannya  |
|---|---|
| Hormon Somatotropin (STH),<br>Hormon pertumbuhan<br>(Growth Hormone/GH) | Merangsang sintesis protein dan metabolisme lemak, serta merangsang pertumbuhan tulang (terutama tulang pipa) dan otot.<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• Kekurangan hormon ini pada anak-anak-anak menyebabkan pertumbuhannya terhambat/kerdil (kretinisme).</li> <li>• Jika kelebihan akan menyebabkan pertumbuhan raksasa (<i>gigantisme</i>).</li> <li>• Jika kelebihan terjadi pada saat dewasa, akan menyebabkan pertumbuhan tidak seimbang pada tulang jari tangan, kaki, rahang, ataupun tulang hidung yang disebut <i>akromegali</i>.</li> </ul> |
| Hormon tiotropin atau<br>Thyroid Stimulating<br>Hormone (TSH)           | Mengontrol pertumbuhan dan perkembangan kelenjar gondok atau tiroid serta merangsang sekresi tiroksin.  |

|  |  |
|--|--|
| Adrenocorticotropic hormone (ACTH)   | Mengontrol pertumbuhan dan perkembangan aktivitas kulit ginjal dan merangsang kelenjar adrenal untuk menyekresikan <i>glukokortikoid</i> (hormon yang dihasilkan untuk metabolisme karbohidrat).                         |
| Prolaktin (PRL) atau Lactogenic hormone (LTH)  | Membantu kelahiran dan memelihara sekresi susu oleh kelenjar susu.   |
| Hormon gonadotropin pada wanita:<br>1. Follicle Stimulating Hormone (FSH)<br>2. Luteneizing Hormone (LH) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Merangsang pematangan folikel dalam ovarium dan menghasilkan estrogen</li> <li>• Memengaruhi pematangan folikel dalam ovarium dan menghasilkan progesteron</li> </ul>           |
| Hormone gonadotropin pada pria:<br>1. FSH<br>2. Interstitial Cell Stimulating Hormone (ICSH)             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Merangsang terjadinya spermatogenesis (proses pematangan sperma)</li> <li>• Merangsang sel-sel <i>interstitial</i> testis untuk memproduksi testosteron dan androgen</li> </ul> |
| MSH (Melanosit Stimulating Hormon)   | Memengaruhi warna kulit individu. dengan cara menyebarkan butir melanin. Apabila hormon ini banyak dihasilkan maka menyebabkan kulit menjadi hitam.  |

### Lobus Posterior/Neurohipofisis

Hipofisis posterior merupakan bagian hipofisis yang berasal dari *evagianasi* atau penonjolan jaringan saraf dari hipotalamus. Macam-macam fungsi hormon yang dihasilkan kelenjar hipofisis *lobus* posterior dapat dilihat pada tabel 7.3.

**Tabel 7.3:** Hormon Pada Lobus Hipofisis Posterior

| Hormon yang Dihasilkan                         | Fungsi dan Gangguannya  |
|--|---|
| <i>Antidiuretic hormone</i> (ADH/ vasopressin) | Meningkatkan <i>reabsorpsi</i> air oleh ginjal dan menimbulkan <i>vasokonstriksi</i> serta meningkatkan tekanan darah |
| Oksitosin                                      | Merangsang ejeksi air susu dari payudara dan merangsang kontraksi uterus  |

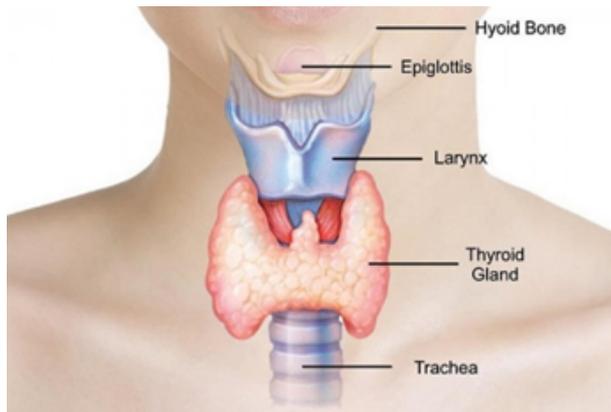
Banyak sedikitnya cairan yang masuk dalam sel akan dideteksi oleh hipotalamus. Jika cairan (plasma) dalam darah sedikit, maka hipofisis akan menyekresikan ADH untuk melakukan *reabsorpsi* (penyerapan kembali) sehingga darah mendapatkan asupan cairan dari hasil *reabsorpsi* tersebut.

Dengan demikian kadar cairan (plasma) dalam darah dapat kembali seimbang. Selain itu, karena cairan pada ginjal sudah diserap, maka urinenya kini bersifat pekat. Jika seseorang buang air kecil terus menerus, diperkirakan hipofisis posteriornya mengalami gangguan sebab ADH tidak berfungsi dengan baik. Nama penyakit ini disebut diabetes insipidus.

### 7.4.3 Kelenjar Tiroid

Kelenjar tiroid merupakan kelenjar endokrin terbesar di dalam tubuh. Secara normal, kelenjar ini memiliki berat 15-20 gram pada manusia dewasa. Kelenjar tiroid terletak tepat di bawah laring pada kedua sisi dan sebelah anterior trakea, serta terdiri dari dua *lobus*, yaitu *lobus dekstra* dan *sinistra*. Kedua lobus ini saling berhubungan. Masing-masing lobus memiliki tebal 2 cm, panjang 4 cm, dan lebar 2,5 cm.

Secara mikroskopis, struktur kelenjar tiroid ini terdiri dari banyak folikel-folikel tertutup yang dipenuhi oleh bahan *sekretorik* yang disebut koloid. Koloid ini dibatasi oleh sel-sel epitel kuboid yang berperan mengeluarkan hormonnya ke bagian folikel. Secara fisiologis, kelenjar tiroid ini berfungsi untuk menyekresikan dua hormon utama, yaitu tiroksin (T<sub>4</sub>) dan *triiodotironin* (T<sub>3</sub>).



**Gambar 7.4:** Kelenjar Tiroid

**Tabel 7.4:** Hormon yang Dihasilkan Dari Kelenjar Tiroid

| Hormon yang Dihasilkan | Fungsi  |
|------------------------|---|
| Tiroksin               | Mengatur metabolisme, pertumbuhan, perkembangan, dan kegiatan sistem saraf                |
| Triodontironin         | Mengatur metabolisme, pertumbuhan, perkembangan dan kegiatan sistem saraf                 |
| Kalsitonin             | Menurunkan kadar kalsium dalam darah dengan cara mempercepat absorpsi kalsium oleh tulang |

Kelainan:

Kekurangan tiroksin menurunkan kecepatan metabolisme sehingga pertumbuhan lambat dan kecerdasan menurun. Bila ini terjadi pada anak-anak mengakibatkan *kretinisme*, yaitu kelainan fisik dan mental yang menyebabkan anak tumbuh kerdil dan idiot. Kekurangan iodium yang masih ringan dapat diperbaiki dengan menambahkan garam iodium di dalam makanan.

Jika kelebihan tiroid (hipertiroidisme) akan menyebabkan pertumbuhan raksasa (*gigantisme*). Jika kelebihan terjadi pada saat dewasa, akan menyebabkan pertumbuhan tidak seimbang pada tulang jari tangan, kaki, rahang, ataupun tulang hidung yang disebut akromegali.

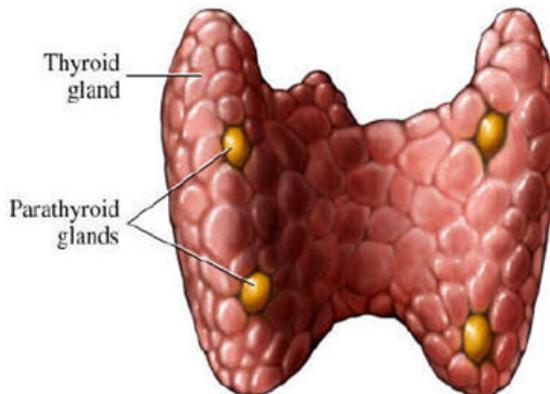
Fungsi hormon-hormon tiroid:

1. Mengatur laju metabolisme tubuh. Baik T3 dan T4 kedua-duanya meningkatkan metabolisme karena peningkatan konsumsi oksigen dan produksi panas. Efek ini pengecualian untuk otak, lien, paru-paru dan testis.
2. Kedua hormon ini tidak berbeda dalam fungsi namun berbeda dalam intensitas dan cepatnya reaksi. T3 lebih cepat dan lebih kuat reaksinya tetapi waktunya lebih singkat dibanding dengan T4. T3 lebih sedikit jumlahnya dalam darah. T4 dapat diubah menjadi T3 setelah dilepaskan dari folikel kelenjar.
3. Memegang peranan penting dalam pertumbuhan fetus khususnya pertumbuhan saraf dan tulang.
4. Mempertahankan sekresi GH dan gonadotropin.

5. Efek *kronotropik* dan *inotropik* terhadap jantung yaitu menambah kekuatan kontraksi otot dan menambah irama jantung.
6. Merangsang pembentukan sel darah merah.
7. Memengaruhi kekuatan dan ritme pernapasan sebagai kompensasi tubuh terhadap kebutuhan oksigen akibat metabolisme.
8. Bereaksi sebagai antagonis insulin. *Tirotokalsitonin* mempunyai jaringan sasaran tulang dengan fungsi utama menurunkan kadar kalsium serum dengan menghambat reabsorpsi kalsium di tulang. Faktor utama yang memengaruhi sekresi *kalsitonin* adalah kadar kalsium serum. Kadar kalsium serum yang rendah akan menekan; pengeluaran *tirotokalsitonin* dan sebaliknya peningkatan kalsium serum akan merangsang pengeluaran *tirotokalsitonin*. Faktor tambahan adalah diet kalsium dan sekresi gastrin di lambung.

#### 7.4.4 Kelenjar Paratiroid

Kelenjar paratiroid merupakan kelenjar yang terletak di atas selaput yang membungkus kelenjar tiroid. Kelenjar ini terdiri dari 4 buah. Setiap dua pasang kelenjar ini terletak pada di belakang tiap *lobus* dari kelenjar tiroid. Setiap kelenjar paratiroid berukuran kira-kira 5x5x3mm, dengan berat sekitar 25-30 mg. Kelenjar paratiroid mengeluarkan hormon paratiroid (parathroid hormone, PTH) yang bersama-sama dengan Vit D3, dan *kalsitonin* mengatur kadar kalsium dalam darah.



**Gambar 7.5:** Kelenjar Paratiroid

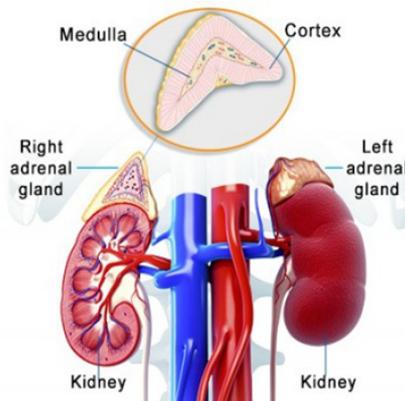
Sintesis PTH dikendalikan oleh kadar kalsium plasma, yaitu dihambat sintesisnya bila kadar kalsium tinggi dan dirangsang bila kadar kalsium rendah. PTH akan merangsang *reabsorpsi* kalsium pada *tubulus* ginjal, meningkatkan *absorpsi* kalsium pada usus halus, sebaliknya menghambat *reabsorpsi* fosfat dan melepaskan kalsium dari tulang. Jadi PTH akan aktif bekerja pada tiga titik sasaran utama dalam mengendalikan homeostasis kalsium yaitu di ginjal, tulang dan usus.

Sel utama dari kelenjar ini terdiri dari sel *prinsipal* dan sel *oksil*. Sel *prinsipal* ada 2 macam, yaitu sel *prinsipal* terang dan sel *prinsipal* gelap. Jumlah sel *prinsipal* lebih banyak dibanding sel *oksil*. Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar paratiroid adalah *hormone Paratiroksin*. *Paratiroksin* merupakan polipeptida produk *sekretorik* sel-sel *prinsipal* kelenjar paratiroid.

Hormon ini berfungsi untuk mengatur konsentrasi ion kalsium serum. Produksi hormon *paratiroksin* akan meningkat apabila kadar kalsium dalam plasma menurun. Hormon ini meningkatkan kadar kalsium dalam darah dengan meningkatkan absorpsi kalsium pada usus dan ginjal, serta melepaskan kalsium dari tulang.

#### 7.4.5 Kelenjar Suprarenalis/Adrenal

Kelenjar adrenal merupakan kelenjar berbentuk ceper yang terdapat di bagian atas ginjal. Kelenjar adrenal berjumlah dua buah, terdapat satu pada masing-masing ginjal. Kelenjar ini memiliki berat kira-kira 5-9 gram. Kelenjar ini terdiri dari dua bagian, yaitu bagian luar (korteks) serta bagian dalam (medula).



**Gambar 7.6:** Kelenjar Suprarenalis/Adrenal

Bagian korteks merupakan bagian kelenjar yang berasal dari sel-sel *mesodermal*, sedangkan bagian medula merupakan bagian yang berasal dari sel-sel *ektodermal*. Perbatasan korteks-medula *interdigitasi* atau dapat terlihat jelas.

### Bagian Korteks

Bagian korteks adrenal merupakan bagian yang tersusun dari sel-sel *sekretorik* berbentuk *polihedral* tersusun dalam bentuk tali-tali, biasanya setebal 2 sel. Tali-tali tersebut berorientasi secara radial dari daerah medula. Bagian ini terbagi menjadi beberapa zona, yaitu zona *glomerulosa* (lapisan luar), zona *fasikulata* (lapisan tengah yang paling besar), zona *retikularis* (lapisan dalam langsung yang mengelilingi medula).

**Tabel 7.5:** Hormon yang Dihasilkan Dari Kelenjar Suprarenalis/ Adrenal Bagian Korteks Beserta Fungsinya

| Hormon   | Fungsi  |
|--|---|
| Aldosteron (salah satu jenis hormon dari golongan mineral kortikoid)   | Meningkatkan <i>reabsorpsi</i> natrium ginjal, sekresi kalium, dan sekresi ion hidrogen   |
| Glukokortikoid (jenis hormon yang terutama dilepaskan adalah kortisol) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meningkatkan glikogenesis dan <i>glukogenesis</i> di dalam sel hati</li> <li>2. Meningkatkan metabolisme protein terutama di otot dan tulang</li> <li>3. Meningkatkan sintesis DNA dan RNA dalam sel hati</li> <li>4. Menahan ion Na dan ion Cl, meningkatkan sekresi ion K di dalam ginjal</li> <li>5. Menurunkan ambang rangsangan susunan saraf pusat</li> <li>6. Menggiatkan sekresi asam lambung</li> <li>7. Menguatkan efek <i>nor-adrenalin</i> terhadap pembuluh darah dan merendahkan permeabilitas dinding pembuluh darah</li> <li>8. Mempunyai efek anti-inflamasi. Hormon ini menstabilkan membran lisosom, menurunkan sintesis kolagen, meninggikan degradasi kolagen, dan menghambat proliferasi <i>fibroblas</i></li> <li>9. Menurunkan daya tahan terhadap infeksi dan menghambat pembentukan antibodi</li> <li>10. Menghambat pelepasan <i>histamin</i> dan reaksi alergi</li> </ol> |
| Androgen (terutama ketosteroid dehidroepialdosteron)                   | Hormon yang terkait dengan <i>maskulinisasi</i> yang memacu anabolisme protein dan merangsang pertumbuhan.  |
| Estrogen   | Memacu pertumbuhan dan perkembangan sistem reproduksi wanita, payudara wanita dan ciri seksual sekunder wanita.   |

## Bagian Medulla

Medula adrenal memiliki beberapa komponen utama medula, yaitu sel kelenjar, sel ganglion, *venula*, dan kapiler. Sel kelenjar dari medula adrenal berukuran besar, berbentuk *kolumner* atau *polihedral*, nukleusnya besar dan *vesikuler*. Sel kelenjar ini *terpolarisasi*, satu kutub menghadap *venula*, kutub yang lain menghadap kapiler.

Sitoplasmanya *basofil* serta memiliki granula yang tercat *kromafin* yang sering disebut *adrenokrom*. Sel-selnya disebut sel *kromafin* atau *feokrom*. Ini berkaitan dengan sistem saraf *simpatis* yang menyekresikan *epinefrin* dan *norepinefrin* sebagai respons terhadap rangsang *simpatis*. Sel kelenjar dapat memproduksi *epinefrin* di samping *norepinefrin* yang diubah oleh enzim yang dirangsang oleh *kortisol*.

**Tabel 7.6:** Hormon yang Dihasilkan Dari Kelenjar Suprarenalis/ Adrenal Bagian Medulla Beserta Fungsinya

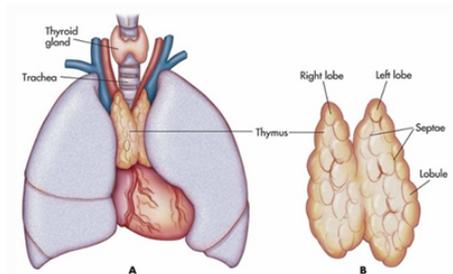
| Hormon        | Fungsi   |
|---------------|--|
| Nor-efinefrin | Pada sistem kardiovaskuler, hormon ini menyebabkan <i>vasokonstriksi</i> sehingga hormon ini berperan dalam meningkatkan tekanan darah. Tekanan darah yang meningkat berperan untuk memperbaiki keadaan syok yang bukan disebabkan oleh pendarahan.  |
| Efinefrin     | <ol style="list-style-type: none"> <li>Pada sistem kardiovaskuler, hormon ini berfungsi untuk memvasodilatasi <i>arteriole</i> dari otot tulang serta memvasokonstriksi <i>arteriole</i> pada kulit. Pada jantung, <i>efinefrin</i> berfungsi menambah atau meningkatkan kontraksi otot jantung, serta memperbesar curah jantung.</li> <li>Hormon ini juga dapat berdampak terhadap metabolisme. Terkait dengan metabolisme tubuh, hormon ini berfungsi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menstimulasi pemecahan glikogen oleh hepar dan otot. Aksi ini berfungsi untuk menaikkan tekanan darah melalui penambahan AMP (Adenosin <i>monofosfat</i>).</li> <li>✓ Menyebabkan efek lipolisis dalam jaringan lemak. Efek lipolisis menyebabkan pelepasan amino dan gliserol dalam darah. Asam lemak sebagai pemicu dalam otot dan hati untuk proses <i>glukoneogenesis</i>.</li> <li>✓ Menghalangi pelepasan insulin dalam pankreas.</li> </ul> </li> </ol> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>✓ Dalam keadaan darurat, <i>efinefrin</i> digunakan untuk melepas asam lemak dari jaringan untuk pembakar dalam otot, meningkatkan mobilisasi glukosa dengan menambah <i>glukoneogenesis</i> serta <i>glukogenesis</i>, mengurangi <i>uptake</i> glukosa dalam otot, mengurangi pelepasan insulin, sehingga glukosa digunakan oleh sistem saraf sentral.</p> <p>Hormon ini juga berdampak terhadap otot polos dari <i>vicera</i>. <i>Efinefrin</i> dapat menyebabkan relaksasi otot polos gaster, usus, <i>vesica urinaria</i> serta otot polos bronkus.</p> |
|--|---|

### 7.4.6 Kelenjar Thymus

Kelenjar *thymus* terletak di rongga dada. Kelenjar ini menghasilkan *hormone somatotrof*. Adapun fungsi hormon ini adalah untuk:

1. Mengatur proses pertumbuhan.
2. Kekebalan tubuh/imunitas setelah kelahiran.
3. Memacu pertumbuhan dan pematangan sel Limfosit yang menghasilkan Lymphocyte cell/T Cell.



**Gambar 7.7:** Kelenjar Thymus

### 7.4.7 Kelenjar Pankreas

Kelenjar pankreas terletak di *retroperitoneal* rongga abdomen atas dan terbentang horizontal dari cincin *duodenal* ke *lien*. Panjangnya sekitar 10-20 cm dan lebar 2,5-5 cm. Mendapat asupan darah dari arteri *mesenterika* superior dan *splenikus*. Kelenjar pankreas berfungsi sebagai endokrin dan eksokrin.

Sebagai organ endokrin karena di pankreas terdapat pulau-pulau *Langerhans* yang terdiri dari 3 jenis sel yaitu sel beta (B) 75 %, sel alfa (A) 20 % dan sel delta (D) 5 %. Sekresi hormon pankreas dihasilkan oleh pulau *Langerhans*.

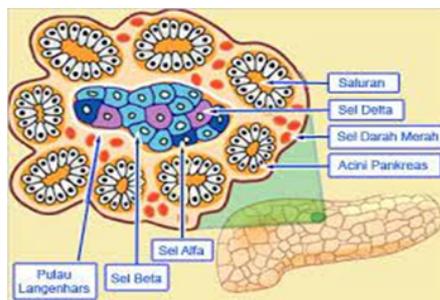
Setiap pulau *Langerhans* berdiameter 75-150 mikron. Sel alfa menghasilkan glukagon dan sel beta merupakan sumber insulin, sedangkan sel delta mengeluarkan *somatostatin*, gastrin dan polipeptida pankreas.

Glukagon juga dihasilkan oleh mukosa usus menyebabkan terjadinya glikogenesis dalam hati dan mengeluarkan glukosa ke dalam aliran darah. Fungsi insulin terutama untuk memindahkan glukosa dan gula lain melalui membran sel ke jaringan utama terutama sel otot, *fibroblast* dan jaringan lemak. Bila tidak ada glukosa maka lemak akan digunakan untuk metabolisme sehingga akan timbul *ketosis* dan *acidosis*.

Dalam meningkatkan kadar gula dalam darah, glukagon merangsang glikogenolisis (pemecahan glikogen menjadi glukosa) dan meningkatkan transportasi asam amino dari otot serta meningkatkan *glukoneogenesis* (pembentukan glukosa dari yang bukan karbohidrat). Dalam metabolisme lemak, glukagon meningkatkan lipolisis (pemecahan lemak).

Efek anabolik dari hormon insulin adalah sebagai berikut:

1. Efek pada hepar, yaitu meningkatkan sintesa dan penyimpanan glukosa, menghambat glikogenolisis, *glukoneogenesis* dan ketogenesis meningkatkan sintesa *triglicerida* dari asam lemak bebas di hepar.
2. Efek pada otot, yaitu meningkatkan sintesis protein, meningkatkan transportasi asam amino dan meningkatkan glikogenesis.
3. Efek pada jaringan lemak, yaitu meningkatkan sintesa trigliserida dari asam lemak bebas, meningkatkan penyimpanan trigliserida dan menurunkan lipolisis.



**Gambar 7.8:** Kelenjar Pankreas

### 7.4.8 Kelenjar Gonad/Kelamin

Kelenjar kelamin/gonad pada wanita terletak di ovarium di rongga perut dan pada pria letaknya di testis di rongga perut bawah. Menghasilkan hormon dan sel kelamin.

Macamnya ada 2 sel kelamin:

1. Sel Testis

Menghasilkan Hormon Androgen, Ex: Hormon Testosteron, merupakan satu hormon yang terpenting dalam pembentukan sel spermatozoa.

Fungsi hormon testosteron:

- a. mengatur ciri kelamin sekunder;
- b. mempertahankan proses spermatogenesis.

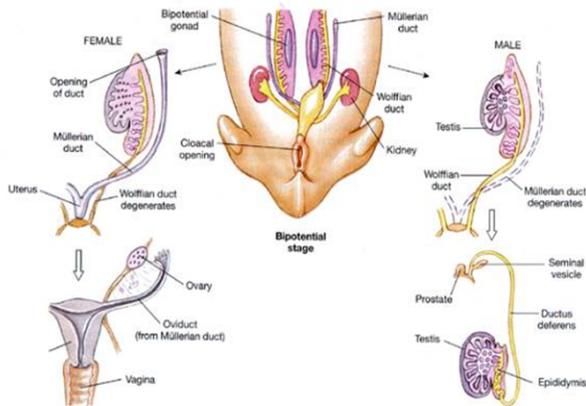
2. Sel Ovarium

Menghasilkan tiga hormon penting dalam seorang wanita:

- a. Hormon Estrogen, hormon ini berfungsi untuk memperlihatkan ciri-ciri kelamin sekunder wanita.
- b. Hormon Progesteron, hormon ini berfungsi mempersiapkan masa kehamilan dengan menebalkan dinding uterus dan menjaga kelenjar susu dalam menghasilkan air susu.
- c. Hormon Relaksin, hormon ini berfungsi untuk membantu proses persalinan dalam kontraksi otot.

Sistem hormonal yang memengaruhi siklus menstruasi adalah:

1. FSH-RH (Follicle Stimulating Hormone Releasing Hormone) yang dikeluarkan hipotalamus untuk merangsang hipofisis mengeluarkan FSH.
2. LH-RH (Luteinizing Hormone Releasing Hormone) yang dikeluarkan hipotalamus untuk merangsang hipofisis mengeluarkan LH.
3. PIH (Prolactine Inhibiting Hormone) yang menghambat hipofisis untuk mengeluarkan prolaktin.



**Gambar 7.9:** Kelenjar Gonad/Kelamin



# Bab 8

## Struktur dan Fungsi Sistem Kardiovaskuler

### 8.1 Pendahuluan

Sistem kardiovaskuler adalah suatu sistem yang berfungsi sebagai jaringan transportasi cairan yaitu mengedarkan darah ke seluruh tubuh. Sistem ini berperan dalam pengiriman oksigen, nutrisi atau zat gizi, protein, hormon, zat-zat sisa metabolisme, dan bahan kimia penting lainnya ke seluruh tubuh, serta membantu dalam pengontrolan suhu tubuh. Sistem ini terdiri dari struktur-struktur seperti jantung, pembuluh darah, dan darah. Jantung berfungsi sebagai pemompa darah ke seluruh tubuh, dimana organ ini mempunyai rongga dan berotot. Darah dialirkan melalui jaringan pembuluh darah ke seluruh tubuh.

Secara garis besar, pembuluh darah dibagi menjadi 3 bagian besar yaitu arteri yang berfungsi sebagai saluran pembawa darah dari jantung ke pembuluh-pembuluh yang lebih kecil yaitu arteriola, lalu ke kapiler-kapiler, dan kemudian berbalik memasuki vena cava superior maupun inferior, untuk selanjutnya membawa darah kembali ke jantung (Prabowo, Mediarti and Hapipah, 2022).

Fungsi sistem kardiovaskuler terdiri dari:

1. Sebagai alat transportasi, yaitu mengangkut zat-zat yang dibutuhkan sel diantaranya oksigen, glukosa, dan lain-lain, serta membawa bahan sisa metabolisme seperti CO<sub>2</sub> dan urea untuk dibuang.
2. Sebagai pengatur/regulasi, yang berperan dalam menyampaikan hormon ke target organ, dan berperan dalam regulasi suhu.
3. Sebagai proteksi, yaitu ikut berperan dalam sistem imunitas tubuh dan pembekuan darah (Prabowo, Mediarti and Hapipah, 2022).

## 8.2 Struktur Sistem Kardiovaskuler

Menurut Schunke, Schulte and Schumacher, (2021), struktur sistem kardiovaskuler dibagi menjadi beberapa bagian:

### 8.2.1 Jantung

#### **Fungsi**

Jantung merupakan organ berongga dan berotot yang memompa darah melalui sirkulasi *pulmonal* dan sistemik. Jantung menerima darah *venosa* di dalam atrium kanan dan menyalurkannya ke ventrikel kanan untuk selanjutnya ke paru-paru untuk proses oksigenasi.

Selanjutnya menerima darah teroksigenasi di atrium kiri dan menyalurkannya ke ventrikel kiri dan akhirnya memompakan darah ke seluruh tubuh. Jantung mempunyai kemampuan memompakan darah sebanyak lebih dari 6000 liter ke seluruh tubuh setiap hari dan berdenyut lebih dari 40 juta kali per tahun.

#### **Bentuk dan Ukuran**

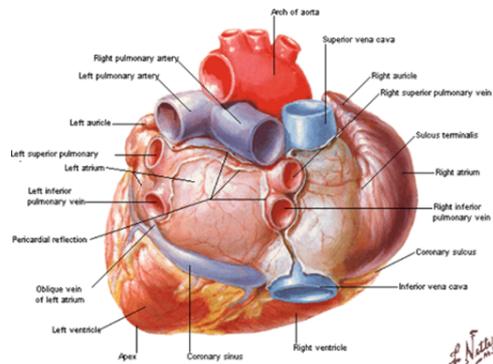
Jantung berbentuk seperti kerucut dimana bagian puncaknya disebut dengan *apex cordis* terletak di lateral kiri depan dari dinding dada, sedangkan bagian basis terletak pada bagian posterior. Jantung mempunyai berat sekitar 300 gr dengan ukuran pada saat kontraksi sebesar 12,5 x 3,5 x 2,5 cm.

Jantung terbagi dalam 4 (empat) ruangan, yaitu atrium kanan dan kiri serta ventrikel kanan dan kiri. Mempunyai sekat jantung yang disebut septum

*interventriculorum* yang memisahkan jantung bagian kiri dan kanan. Mempunyai selaput pembungkus disebut *pericardium*.

### Dinding Jantung

Dinding jantung dari luar ke dalam terdiri dari lapisan *epicardium*, *myocardium* (otot) dan *endocardium*. *Myocardium* pada atrium mempunyai dua lapisan yaitu lapisan luar dengan arah serabut transversal dan lapisan dalam dengan arah serabut sirkuler. *Myocardium* pada ventrikel mempunyai tiga lapisan yaitu lapisan luar dengan arah serabut longitudinal, lapisan tengah yang merupakan lapisan paling tebal dengan arah serabut silindris dan lapisan dalam dengan arah serabut longitudinal. Batas antara *myocardium* atrium dan ventrikel disebut *sulcus coronarius*.



**Gambar 8.1:** Penampang Jantung (Schunke, Schulte and Schumacher, 2021)

### Katup Jantung

Jantung mempunyai dua katup yang memisahkan atrium dengan ventrikel yaitu *valvula tricuspidalis* pada bagian kanan dan *valvula bicuspidalis/mitralis* pada bagian kiri.

### Atrium

Kedua atrium mempunyai *auricula cordis* yang menjadi bagian luarnya, di dalamnya terdapat *musculus pectinati*.

### Ventrikel

Terdapat otot jantung yaitu *musculus papillaris* yang terhubung dengan *valvula* melalui *corda tendinea*. Terdapat dua pembuluh arteri besar yang keluar dari ventrikel, yaitu *truncus*/arteri *pulmonalis* yang keluar dari ventrikel kanan, dan

aorta yang keluar dari ventrikel kiri. Kedua pembuluh tersebut mempunyai katup disebut *valvula semilunaris*.

### **Vaskulari Jantung**

Jantung mendapatkan nutrisi melalui arteri *coronaria sinistra* dan *dextra* yang keluar melalui pangkal dari aorta (bulbus aorticus). Arteri ini sering mengalami penyumbatan dan gangguan, sebagai contoh terjadinya *atherosclerosis*, sehingga menimbulkan PJK (penyakit jantung koroner).

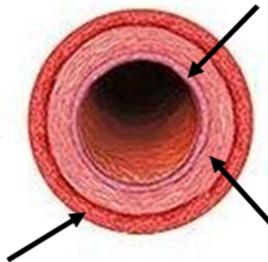
Cabang dari masing-masing arteri koronaria yaitu:

1. Arteri *coronaria dextra*: ramus *nodi sino atrialis*, ramus *marginalis* dan ramus *interventricularis posterior*.
2. Arteri *coronaria sinistra*: ramus *nodi sino atrial*, ramus *interventricularis anterior* dan ramus *circumflexia* serta ramus *marginalis*. Vena dari jantung berupa sinus *coronarius*, menerima darah dari vena *cordis magna*, vena *cordis parva*, vena *interventricularis posterior sinistra* dan vena *marginalis sinistra*. Sedangkan vena *cordis minimae* dan vena *ventriculi dextri anterior* kembali ke jantung langsung memasuki atrium *dexter* dengan menembus dindingnya.

## **8.2.2 Pembuluh Darah**

### **Fungsi**

Fungsi pembuluh darah adalah sebagai alat transpor darah menuju organ-organ, seperti paru-paru untuk terjadi pertukaran CO<sub>2</sub> dengan O<sub>2</sub> melalui kapiler; organ *intestinal* untuk mengabsorpsi nutrisi dalam bentuk cair; kelenjar endokrin, dimana hormon berjalan melalui dindingnya dan pembuluh darah akan mendistribusikan ke sel tujuan; organ sekresi seperti ginjal, *intestinal*, paru-paru dan kulit.



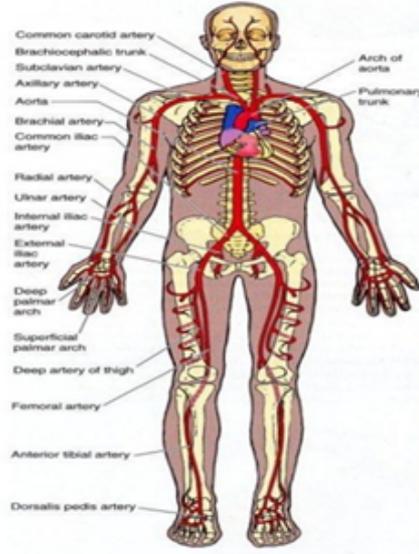
**Gambar 8.2:** Penampang Pembuluh Darah (Schunke, Schulte and Schumacher, 2021)

### Tipe Pembuluh Darah

#### 1. Arteri

Arteri berfungsi membawa darah dari jantung dan mendistribusikannya ke bagian tubuh lain. Pembuluh arteri berdinding tebal, berotot, dan elastis untuk menahan tingginya tekanan darah yang dipompa dari jantung. Dinding arteri mempunyai 3 (tiga) lapisan, yang dapat mengembang dan berkontraksi yaitu *tunica adventitia*, *tunica media* dan *tunica intima*. Lapisan yang terdiri dari otot polos mempunyai kemampuan kontraksi yang besar sedangkan lapisan dengan jaringan konektif hanya dapat berkontraksi sedikit.

Kerusakan pada *tunica intima* yaitu pada lapisan *endotelium* dapat mengakibatkan tertimbunnya zat-zat yang dapat menghalangi lancarnya aliran darah atau bahkan menyumbat lumen pembuluh darah. Keadaan ini disebut dengan *atherosclerosis*. Timbunan bahan-bahan pada dinding endotel yang disebut dengan plak dapat berasal dari sel-sel lemak, sel-sel radang dan lain-lain. Akibat dari keadaan ini maka jaringan dapat mengalami kekurangan suplai oksigen dan nutrisi sehingga mengakibatkan matinya jaringan.



**Gambar 8.3:** Aliran Arteri Pada Tubuh (Schunke, Schulte and Schumacher, 2021)

Kelainan yang lain adalah aneurisma, yaitu tipisnya salah satu lapisan dari dinding arteri. Keadaan ini dapat menjadi fatal jika dinding arteri yang menipis tersebut pecah akibat tekanan darah yang naik tiba-tiba. Berdasarkan besar dan struktur dindingnya, terdapat 3 (tiga) jenis arteri yaitu: arteri elastik, muskularis dan arteriol.

a. Arteri elastik

Merupakan jenis arteri terbesar. Dindingnya terdiri dari serat elastis yg menghilangkan tekanan dan mengurangi kecepatan aliran darah yang dipompakan oleh jantung. Termasuk dalam jenis arteri ini adalah arteri yang paling dekat alirannya dengan jantung yaitu: aorta, arteri *pulmonalis*, arteri *anonima*, arteri *carotis communis* dan arteri *subclavia*.

b. Arteri muskularik

Arteri yang mempunyai ukuran medium. Dindingnya terutama terdiri dari serat otot polos. Pengaturannya dikontrol oleh sistem saraf otonom. Arteri jenis ini meliputi percabangan dari aorta, misalnya arteri *coronaria*, arteri *renalis* dan lain-lain.

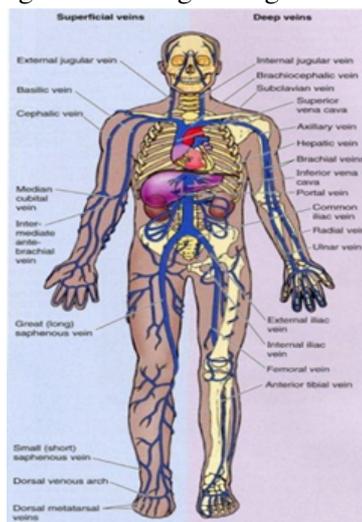
c. Arteriol

Arteri yang mempunyai ukuran terkecil. Mempunyai lumen yang relatif sempit dan dinding otot yang tebal. Tekanannya terutama diatur oleh derajat tonus otot polos pada dindingnya. *Arteriol* merupakan cabang akhir dari arteri yang langsung terhubung dengan jaringan dan akan membentuk kapiler bersama dengan *venula*.

2. Vena

Vena merupakan pembuluh darah yang membawa darah kembali ke jantung. Vena berdinding lebih tipis dan mudah teregang, memungkinkannya mengembang dan membawa darah berjumlah besar saat tubuh sedang beristirahat. Dinding dalam pada banyak vena mempunyai lipatan yang berperan sebagai katup searah untuk mencegah darah bergerak ke arah yang salah.

Biasanya berdampingan erat dengan arteri sebagai satu pasang atau lebih (vena komitans). Vena membawa darah *venosa* yang berwarna kehitaman karena mengandung CO<sub>2</sub>, kecuali vena *pulmonalis* yang berwarna lebih terang karena mengandung O<sub>2</sub>.



**Gambar 8.4:** Aliran Vena Pada Tubuh (Schunke, Schulte and Schumacher, 2021)

### 3. Venula

Vena dengan ukuran terkecil, merupakan cabang paling akhir dari vena yang langsung terhubung dengan jaringan dan akan membentuk kapiler bersama dengan *arteriol*. Kerusakan pada dinding vena timbul diawali dengan kerusakan dari katup-katup vena (*valve*). Akibatnya darah mengalir dari dalam ke permukaan karena tidak ada lagi tahanan yang menghalangi dan mencegah darah bergerak ke arah yang salah, sehingga dinding vena terdesak dan melebar serta berkelok-kelok. Kelainan ini disebut dengan *varices*.

### 4. Kapiler

Terdiri dari jaringan anastomosis yang disebut selimut kapiler. Tersebar di seluruh tubuh dan bersentuhan langsung dengan sel jaringan. Menghubungkan *arteriol* dengan *venula*. Pada kapiler terjadi pertukaran bahan terlarut secara difusi melintasi dinding *endothel arteriol* ke ruang jaringan, dan dari jaringan ke darah melalui dinding *venula*. Kapiler tidak dijumpai pada kornea, epidermis dan *cartilago hyalin*.

### 5. Sinusoid

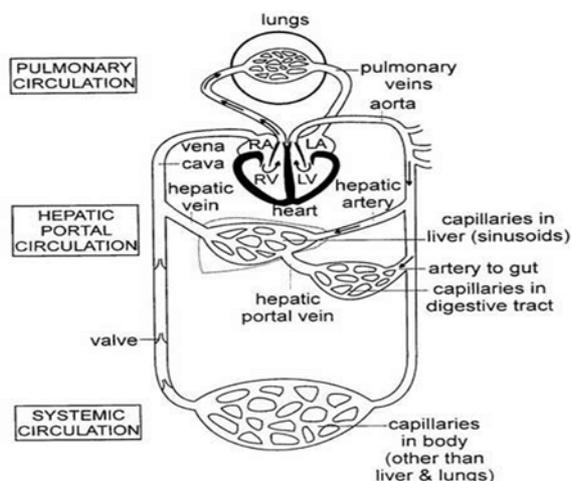
Lebih luas daripada kapiler dan bentuk lebih tidak beraturan. Sinusoid merupakan pengganti kapiler pada hepar, lien, sumsum tulang merah, *corpus caroticus*, *adeno hypophisis*, *cortex* suprarenal dan glandula *parathyroid*. Dindingnya terutama terdiri dari sel fagosit. Merupakan bagian dari sistem *retikuloendothel*, berhubungan dengan pembentukan fagositosis dan antibodi.

## 8.2.3 Peredaran Darah

Jantung memompa darah ke dua sirkulasi yang saling berkait: sirkulasi pulmonal (paru) dan sirkulasi sistemik.

1. Sirkulasi Pulmonal: membawa darah dari ventrikel kanan yang tak beroksigen ke paru-paru melalui arteri pulmonalis, tempat ia menyerap oksigen dan melepaskan karbon dioksida (gas buangan) melalui jaringan kapiler, lalu darah beroksigen dibawa kembali ke atrium kiri jantung melalui vena pulmonalis.

2. Sirkulasi Sistemik: tubuh membawa darah beroksigen dari ventrikel kiri melalui aorta ke semua jaringan tubuh, di mana ia melepaskan oksigen dan zat-zat gizi melalui dinding kapiler; dan karbon dioksida serta buangan lain berpindah dari jaringan ke aliran darah, lalu darah tak beroksigen itu kembali ke atrium kanan jantung melalui vena cava superior & inferior, termasuk pembuluh getah bening (pembuluh lymphe). Selain itu, sirkulasi portal *hepatik* merupakan bagian dari sirkulasi sistemik yang membawa darah dari organ pencernaan (intestinal) menuju vena porta untuk selanjutnya masuk ke liver dan keluar melalui vena *hepatica* dan masuk ke dalam vena *cava* inferior.



**Gambar 8.3:** Skema Peredaran Darah (Schunke, Schulte and Schumacher, 2021)



# **Bab 9**

## **Fungsi Sistem Limfatik Serta Kekebalan Tubuh**

### **9.1 Pendahuluan**

Pada sistem tubuh manusia, sistem limfatik mungkin bukan yang sering muncul pertama kali terlintas dalam benak kita. Namun, jika sistem tersebut gagal dalam menjalankan tugasnya dengan baik maka sistem kardiovaskular dapat berhenti bekerja dan mengganggu kesempurnaan kerja sistem kekebalan tubuh. Setiap harinya, mikroorganisme patogen, seperti bakteri, protozoa, jamur, dan virus selalu ada atau berkerumun di tubuh manusia.

Namun, individu atau manusia tersebut tetap sehat secara luar biasa sepanjang waktu. Tubuh manusia telah mengembangkan pendekatan tunggal terhadap keberadaan mikroorganisme patogen tersebut, yaitu sistem kekebalan tubuh. Berikutnya, kedua sistem ini akan dijabarkan secara luas dalam hal struktur dan fungsinya pada tubuh manusia dalam bab ini. Sistem limfatik mengembalikan cairan ekstraseluler yang tidak tertampung atau yang di luar pembuluh darah khususnya pembuluh darah balik (vena) untuk dapat kembali ke sistem peredaran darah.

Sistem ini sebenarnya terdiri dari tiga bagian, yaitu:

1. Jaringan pembuluh limfatik yang berkelok-kelok.
2. Getah bening, cairan yang terkandung di dalam pembuluh tersebut.
3. Kelenjar getah bening yang membersihkan getah bening saat melewatinya.

Ketika darah beredar ke seluruh tubuh, nutrisi, zat-zat sampah, dan gas dipertukarkan antara cairan yang ada di pembuluh darah dan cairan interstisial. Tekanan hidrostatik dan tekanan osmotik koloid yang beroperasi pada lapisan kapiler memaksa cairan keluar dari pembuluh darah pada ujung arteri tetapi akan diserap kembali di ujung vena.

Namun demikian, masih banyak cairan itu yang tetap tertinggal di ruang interstisial sel (kurang lebih 3L) setiap harinya. Cairan tersebut bersama protein plasma yang keluar dari pembuluh darah harus dapat dikembalikan ke peredaran darah untuk memastikan bahwa sistem kardiovaskular memiliki volume darah yang cukup agar dapat bekerja dengan baik. Peran inilah yang dilakukan oleh sistem limfatik agar semuanya dapat berjalan dengan baik dan optimal kembali (Marieb and Hoehn, 2013; Randolph et al., 2017).

Sedangkan pada sistem kekebalan tubuh terdapat dua mekanisme pertahanan intrinsik yang bekerja secara independen dan kooperatif untuk memberikan perlawanan terhadap patogen, yaitu:

1. Kekebalan bawaan (tidak spesifik), kekebalan ini merupakan garis pertahanan pertama pada tubuh bagian luar, seperti membran kulit dan mukosa yang utuh. Garis pertahanan kedua, diaktifkan untuk bereaksi setiap kali garis pertahanan pertama telah ditembus dan hal ini bergantung pada sistem pertahanan internal berikutnya, seperti protein anti mikroba, fagosit, dan sel kekebalan tubuh lainnya untuk menghambat penyebaran mikroorganisme patogen ke seluruh tubuh.
2. Kekebalan adaptif (spesifik), kekebalan ini dapat diumpamakan seperti pasukan elite yang dilengkapi dengan senjata berteknologi tinggi untuk menyerang mikroorganisme patogen tertentu. Respons pertahanan adaptiflah, yang menyediakan persiapan garis pertahanan tubuh ketiga untuk dapat bekerja.

Meskipun dapat dianggap bahwa kedua mekanisme pertahanan ini memiliki cara kerja yang berbeda, tetapi keduanya selalu bekerja beriringan. Ketika sistem kekebalan tubuh beroperasi secara efektif maka tubuh akan terlindung dari sebagian besar mikroorganisme patogen, sel kanker, dan bahkan tidak mengganggu organ yang dicangkokkan dalam tindakan transplantasi (Marieb and Hoehn, 2013; Nicholson, 2016).

## 9.2 Sistem Limfatik

Ketiga komponen inti pada sistem limfatik, yaitu pembuluh limfatik, nodus, dan cairan limfa memungkinkan sirkulasi cairan getah bening ke seluruh tubuh dengan cara yang mirip dengan cairan dalam pembuluh darah. Sistem ini memainkan peran kunci dalam melawan penyakit. Sistem limfatik sangat penting untuk keseimbangan cairan, penyerapan asam lemak dalam perut, dan pengaturan sistem kekebalan tubuh.

Sistem limfatik adalah jaringan pembuluh darah, nodus, dan saluran yang mengumpulkan dan mengedarkan kelebihan cairan di dalam tubuh. Terdapat 500-600 kelenjar getah bening di seluruh tubuh. Kelenjar-kelenjar ini membengkak sebagai respons terhadap infeksi akibat penumpukan cairan getah bening, bakteri atau organisme lain, dan sel-sel sistem kekebalan tubuh.

Fungsi utama dari sistem limfatik (Marieb and Hoehn, 2013; Liao and von der Weid, 2015; Padera, Meijer and Munn, 2016; Randolph et al., 2017):

### 1. Berperan dalam keseimbangan cairan

Sistem limfatik mengembalikan kelebihan cairan dan protein dari jaringan yang tidak dapat kembali melalui pembuluh darah. Cairan sering terkumpul di ruang kecil yang mengelilingi sel, yang dikenal sebagai ruang interstisial. Kapiler getah bening kecil menghubungkan ruang-ruang ini ke sistem limfatik. Sekitar 90% dari plasma yang mencapai jaringan dari kapiler darah arteri kembali melalui kapiler vena dan vena. Sisanya, 10% mengalir melalui sistem limfatik. Gangguan pada pemrosesan cairan dapat menyebabkan pembengkakan lokal, yang dikenal sebagai *limfedema*.

## 2. Berperan dalam penyerapan nutrisi

Sistem limfatik memainkan peran kunci dalam penyerapan beberapa zat nutrisi di usus. Sistem ini membantu mengangkut lemak, melawan infeksi, dan membuang kelebihan cairan. Bagian dari selaput usus di usus kecil mengandung tonjolan-tonjolan kecil seperti jari yang disebut *vili*. Setiap *vili* mengandung kapiler getah bening kecil, yang dikenal sebagai *laktiferus*. Kapiler-kapiler ini menyerap lemak dan vitamin yang larut dalam lemak untuk membentuk cairan putih susu yang disebut *chyle*. Cairan ini mengandung getah bening dan lemak yang teremulsi, atau asam lemak bebas. Cairan ini memberikan nutrisi secara tidak langsung ketika mencapai sirkulasi darah vena. Kapiler darah mengambil nutrisi lainnya secara langsung.

## 3. Berperan dalam fungsi kekebalan tubuh

Fungsi ketiga kelenjar getah bening adalah untuk mempertahankan tubuh dari paparan mikroorganisme yang berpotensi berbahaya, seperti infeksi. Garis pertahanan pertama tubuh melibatkan penghalang fisik (seperti kulit) dan penghalang racun (seperti kandungan asam lambung). Namun, patogen sering kali berhasil masuk ke dalam tubuh meskipun ada pertahanan ini, dengan adanya sistem limfatik maka sistem kekebalan dapat dimungkinkan untuk dapat bekerja dengan lebih baik lagi.

### 9.2.1 Struktur dan Fungsi Sistem Limfatik

Sistem limfatik terdiri dari dua struktur, yaitu: pembuluh limfatik dan organ limfoid. Kedua bagian ini yang memungkinkan sirkulasi cairan getah bening dapat berfungsi dengan baik dan sistem ini dapat menjalankan fungsinya secara optimal.

#### **Pembuluh Limfatik dan Transportasi Getah Bening**

Pembuluh limfatik dibagi menjadi dua bagian, yaitu kapiler limfatik dan pembuluh limfatik yang lebih besar. Kapiler limfatik memiliki ukuran mikroskopis, dinding pembuluh yang tipis, dan terletak di ruang ekstraseluler berbagai jaringan tubuh, tetapi tidak didapati di tulang, gigi, sumsum tulang, maupun sistem saraf pusat. Keberadaan kapiler limfatik berdekatan dengan sel-

sel jaringan dan kapiler darah, serta memiliki ukuran diameter yang lebih besar daripada kapiler darah dan bersifat sangat permeabel.

Sifat permeabilitas ini disebabkan oleh modifikasi dua struktur, yaitu:

1. Sel-sel endotel membentuk dinding kapiler limfatik yang menyatu tetapi tidak erat. Tepi sel endotel yang berdekatan saling tumpang tindih namun longgar, dan membentuk katup kecil yang mudah dibuka seperti pintu.
2. Filamen kolagen mengikat sel endotel ke struktur sekitarnya sehingga setiap peningkatan volume cairan interstisial membuka katup kecil, daripada menyebabkan kapiler limfatik kolaps.

Adanya penutup yang mirip dengan pintu ayun satu arah di dinding kapiler limfatik yang membuat cairan di dalamnya dapat mengalir. Ketika tekanan cairan di ruang interstisial lebih besar dari tekanan di kapiler limfatik, pintu katup kecil terbuka lebar, memungkinkan cairan masuk ke kapiler limfatik.

Namun, ketika tekanan lebih besar di dalam kapiler limfatik, hal itu memaksa pintu katup mini endotel menutup, mencegah getah bening bocor keluar saat tekanan menggerakkannya ke sepanjang pembuluh. Protein di ruang interstisial tidak dapat memasuki kapiler darah, tetapi mereka dapat memasuki kapiler limfatik dengan mudah.

Selain itu, ketika inflamasi terjadi di jaringan, kapiler limfatik akan membuka pintu yang memungkinkan pengambilan partikel yang lebih besar seperti sisa-sisa sel, patogen (bakteri dan virus), dan sel kanker. Patogen kemudian dapat menggunakan limfatik untuk melakukan perjalanan ke seluruh tubuh. Ancaman terhadap tubuh ini sebagian diselesaikan dengan fakta bahwa getah bening "memutar" melalui kelenjar getah bening, di mana ia dibersihkan dari sisa-sisa dan "diperiksa" oleh sel-sel sistem kekebalan.

Terdapat kapiler limfatik khusus yang disebut *lakteal* mengangkut lemak yang diserap dari usus kecil ke aliran darah. *Lakteal* disebut demikian karena getah putih susu yang mengalir melaluinya. Getah bening berlemak ini, disebut *chyle*, mengalir dari *vili* seperti jari di mukosa usus.

Dari kapiler limfatik, getah bening mengalir melalui saluran limfatik yang lebih besar dan berdinding tebal secara berturut-turut adalah pembuluh pengumpul, pembuluh batang, dan akhirnya pembuluh limfatik yang terbesar. Pembuluh limfatik pengumpul memiliki tiga tunik yang sama dengan vena, tetapi

pembuluh pengumpul memiliki dinding yang lebih tipis dan lebih banyak katup internal, dan lebih banyak anastomosis.

Secara umum, limfatik di kulit berjalan bersama dengan vena superfisial, sedangkan pembuluh limfatik dalam dari batang dan jeroan pencernaan berjalan dengan arteri dalam. Distribusi anatomi yang tepat dari pembuluh limfatik sangat bervariasi antar individu, bahkan lebih dari pada vena. Pembuluh pengumpul terbesar bersatu membentuk batang limfatik, yang mengeringkan area tubuh yang cukup luas. Batang utama, sebagian besar dinamai untuk daerah dari mana mereka mengalirkan getah bening, adalah batang lumbal, *bronkomediastinal*, *subklavia*, dan *jugularis* berpasangan, dan batang usus tunggal.

Getah bening akhirnya dikirim ke salah satu dari dua saluran besar di daerah toraks. Saluran limfatik kanan mengalirkan getah bening dari ekstremitas kanan atas dan sisi kanan kepala dan dada. Duktus toraks yang jauh lebih besar menerima getah bening dari seluruh tubuh. Ini muncul di anterior dua vertebra lumbal pertama sebagai kantung yang membesar, *cisterna chyli*, yang mengumpulkan getah bening dari dua batang lumbal besar yang mengalirkan tungkai bawah dan dari batang usus yang mengalirkan organ pencernaan.

Saat duktus toraks berjalan ke atas, ia menerima drainase limfatik dari sisi kiri toraks, ekstremitas atas kiri, dan sisi kiri kepala. Setiap duktus terminal mengosongkan getah beningnya ke dalam sirkulasi vena di persimpangan vena *jugularis interna* dan *vena subklavia* di sisi tubuhnya sendiri.

Mekanisme pembuluh limfatik agar getah bening tidak mengalir mundur, pembuluh limfatik pengumpul dan pembuluh limfatik yang lebih besar memiliki katup satu arah. Katup ini tidak ada di kapiler limfatik. Katup limfatik ini memungkinkan berlanjutnya kemajuan getah bening melalui pembuluh limfatik yang dibantu oleh gradien tekanan yang diciptakan oleh otot polos pembuluh darah, kontraksi otot rangka, dan gerakan pernapasan. Namun, penting untuk dicatat bahwa pembuluh limfatik juga berkomunikasi dengan sistem vena melalui berbagai anastomosis.

Sistem limfatik tidak memiliki organ yang berfungsi sebagai pompa. Dalam kondisi normal, pembuluh limfatik merupakan saluran bertekanan rendah sehingga mekanisme yang sama yang mendorong aliran balik vena dalam pembuluh darah juga digunakan pada pembuluh ini melalui aksi kontraksi otot rangka yang aktif, seperti perubahan tekanan di dada selama bernapas dan katup untuk mencegah aliran balik.

Pembuluh limfatik biasanya dibundel bersama dalam selubung jaringan ikat bersama dengan pembuluh darah, dan denyut arteri di dekatnya juga meningkatkan aliran getah bening. Selain mekanisme ini, semua otot polos pada dinding pembuluh limfatik kecuali pembuluh limfatik terkecil berkontraksi secara ritmis, membantu memompa getah bening.

Meski begitu, transportasi getah bening bersifat sporadis dan lambat. Gerakan jaringan yang berdekatan sangat penting dalam mendorong getah bening melalui limfatik. Ketika aktivitas fisik atau gerakan pasif meningkat, getah bening mengalir jauh lebih cepat (menyeimbangkan tingkat kehilangan cairan yang lebih besar dari darah dalam situasi seperti itu).

Untuk alasan ini, merupakan ide bagus untuk melumpuhkan bagian tubuh yang terinfeksi parah untuk menghalangi aliran bahan peradangan dari daerah tersebut (Marieb and Hoehn, 2013; Mortimer and Rockson, 2014; Louveau et al., 2016; Moore and Bertram, 2018).

### **Organ Limfoid**

Komponen penyusun organ limfoid adalah sel limfoid dan jaringan limfoid. Sel-sel limfoid merupakan sel yang berfungsi pada sistem kekebalan yang ditemukan dalam jaringan limfoid bersama dengan sel-sel pendukung lainnya yang membentuk pertahanan di jaringan tersebut. Sel limfosit merupakan pejuang utama dalam sistem kekebalan, muncul di sumsum tulang merah (bersama dengan elemen pembentuk lainnya).

Sel ini matang dan menjadi limfosit sel T (limfosit T) atau sel B (limfosit B) yang melindungi tubuh dari antigen yang merupakan pemicu respons imun, seperti bakteri dan racunnya, virus, sel darah merah yang tidak cocok, atau sel kanker. Sel T yang aktif mengelola respons imun, dan beberapa di antaranya langsung menyerang dan menghancurkan sel yang terinfeksi. Sel B melindungi tubuh dengan memproduksi sel plasma, sel anak yang mengeluarkan antibodi ke dalam darah atau cairan tubuh lainnya. Antibodi menandai antigen untuk dihancurkan oleh fagosit atau dengan cara lain.

Selain itu, terdapat *makrofag* memainkan peran penting dalam perlindungan tubuh dan respons imun dengan *memfagosit* zat asing dan membantu mengaktifkan sel T. Demikian pula, sel *dendritik* yang tampak seperti duri menangkap antigen dan membawanya kembali ke kelenjar getah bening. Selanjutnya, yang terakhir adalah sel *reticular*, sel mirip *fibroblast* yang

menghasilkan *stroma* serat retikuler yang merupakan jaringan yang mendukung jenis sel lain di organ dan jaringan limfoid.

Sedangkan jaringan limfoid adalah komponen penting dari sistem kekebalan tubuh, terutama karena menampung dan menyediakan tempat proliferasi untuk limfosit, serta memberikan titik pengamatan yang ideal untuk limfosit dan *makrofag*. Jaringan limfoid, sebagian besar terdiri dari sejenis jaringan ikat longgar yang disebut jaringan ikat retikuler, mendominasi semua organ limfoid kecuali timus. *Makrofag* hidup pada serat jaringan ikat retikuler. Sejumlah besar limfosit masuk melalui dinding *venula* pasca kapiler yang mengalir melalui jaringan ini dan untuk sementara menempati ruangnya.

Kemudian, kembali pergi untuk berpatroli di seluruh tubuh. Perputaran limfosit antara pembuluh darah, jaringan limfoid, dan jaringan ikat longgar tubuh memastikan bahwa limfosit mencapai lokasi yang terinfeksi atau yang rusak dengan cepat.

Keberadaan jaringan limfoid dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Jaringan limfoid *difus* yang merupakan sel limfoid dengan susunan longgar dan memiliki beberapa serat retikuler, dapat ditemukan hampir di setiap organ tubuh. Koleksi yang lebih besar muncul di lamina *propria* selaput lendir seperti yang melapisi saluran pencernaan.
2. Folikel limfoid (nodul limfoid) merupakan sel limfoid padat, memiliki badan bulat, dan serat retikuler. Folikel sering memiliki pusat germinal dengan pewarnaan lebih terang di mana sel B yang berproliferasi mendominasi. Pusat-pusat ini membesar secara dramatis ketika sel B membelah dengan cepat dan memproduksi sel plasma. Dalam banyak kasus, folikel merupakan bagian dari organ limfoid yang lebih besar, seperti kelenjar getah bening. Namun, agregasi terisolasi dari folikel limfoid terjadi di dinding usus sebagai Peyer Patches (kumpulan nodul limfoid) dan di apendiks.

Selanjutnya, sel limfoid dan jaringan limfoid membentuk organ limfoid. Organ limfoid utama dalam tubuh adalah kelenjar getah bening, yang berkelompok di sepanjang pembuluh limfatik tubuh. Ada ratusan organ kecil ini, tetapi karena biasanya tertanam dalam jaringan ikat, biasanya tidak terlihat. Kelompok besar kelenjar getah bening terjadi di dekat permukaan tubuh di daerah *inguinal*,

aksila, dan serviks, tempat berkumpulnya pembuluh limfatik pengumpul untuk membentuk batang.

Kelenjar getah bening memiliki dua fungsi dasar, keduanya berkaitan dengan perlindungan tubuh:

1. Filtrasi

Saat getah bening diangkut kembali ke aliran darah, kelenjar getah bening bertindak sebagai "filter" getah bening. Makrofag di nodus membuang dan menghancurkan mikroorganisme dan kotoran lain yang masuk ke getah bening dari jaringan ikat longgar, mencegahnya dikirim ke darah dan menyebar ke bagian tubuh yang lain.

2. Aktivasi sistem kekebalan

Kelenjar getah bening dan organ limfoid lainnya adalah lokasi yang strategis di mana limfosit menghadapi antigen dan diaktifkan untuk menyerang mereka. Mari kita lihat bagaimana struktur kelenjar getah bening mendukung fungsi pertahanannya.

Kelenjar getah bening bervariasi dalam bentuk dan ukuran, tetapi sebagian besar berbentuk seperti kacang dan panjangnya kurang dari 2,5 cm (1 inci). Setiap node dikelilingi oleh kapsul *fibrosa* padat dari mana jaringan ikat yang disebut trabekula memanjang ke dalam untuk membagi node menjadi beberapa kompartemen.

Kerangka internal nodus, atau stroma, dari serat retikuler secara fisik mendukung populasi limfositnya yang selalu berubah. Kelenjar getah bening memiliki dua daerah yang berbeda secara histologis, korteks dan medula. Bagian superfisial korteks mengandung folikel yang padat, banyak dengan pusat germinal yang berat dengan sel B yang membelah. Sel *dendritik* hampir membungkus folikel dan berbatasan dengan bagian korteks yang lebih dalam, yang terutama menampung sel T saat transit. Sel T bersirkulasi terus menerus antara darah, kelenjar getah bening, dan getah bening untuk melakukan peran pengawasannya.

Kedua jenis limfosit ini berada di *korda meduler* yang merupakan ekstensi tipis dalam jaringan limfoid *kortikal*. Di sepanjang nodus terdapat sinus limfa, kapiler limfa besar yang dibentang oleh serat retikuler yang menyilang. Banyak *makrofag* berada pada serat retikuler ini dan memfagosit benda asing di getah bening saat mengalir di sinus. Selain itu, beberapa antigen yang terbawa dalam

getah bening ke jaringan limfoid dan sekitarnya akan mengaktifkan sel limfosit dalam mengaktifkan respons fungsi kekebalannya terhadap patogen tersebut.

Getah bening memasuki sisi cembung kelenjar getah bening melalui sejumlah pembuluh limfatik aferen. Kemudian bergerak melalui sinus besar seperti kantong, sinus *subkapsular*, ke sejumlah sinus kecil yang memotong korteks dan memasuki medula. Getah bening berkelok-kelok melalui sinus *meduler* ini dan akhirnya keluar dari nodus di hilusnya, daerah lekukan di sisi cekung, melalui pembuluh limfatik *eferen*. Ada lebih sedikit pembuluh *eferen* yang mengalirkan nodus daripada pembuluh aferen yang mengalirkannya, sehingga aliran getah bening melalui nodus agak terhambat atau memberikan waktu bagi limfosit dan *makrofag* untuk menjalankan fungsi perlingkungannya. Getah bening melewati beberapa nodus sebelum benar-benar dibersihkan.

Kelenjar getah bening hanyalah salah satu contoh dari banyak jenis organ limfoid atau kumpulan jaringan limfoid di dalam tubuh. Organ lain yang memiliki fungsi yang hampir sama dengan kelenjar getah bening dalam sistem limfatik adalah limpa, timus, *Mucosa-Associated Lymphoid Tissue* (MALT), tonsil, Peyer Patches (agregat nodul limfoid), dan usus buntu (Marieb and Hoehn, 2013; Black and Hawks, 2014; Lewis, Williams and Eisenbarth, 2019).

## 9.3 Sistem Kekebalan Tubuh

Sistem kekebalan ditugaskan untuk membedakan jaringan sehat dari benda yang tidak diinginkan. Sistem ini dapat berespons saat terdeteksi benda asing yang masuk ke dalam tubuh dan melindungi tubuh dari serangan benda asing itu. Selanjutnya, sistem kekebalan menjadi lebih kuat saat terpapar berbagai patogen. Ketika tubuh memproduksi antibodi, tubuh menyimpan salinan dari patogen tersebut, supaya jika antigen yang sama datang kembali, tubuh dapat menanganinya dengan lebih cepat.

Di lain sisi, tubuh memiliki kulit dan mukosa yang dapat menghalangi masuknya benda asing ke dalam tubuh. Kedua penjabaran tersebut merupakan bentuk dari mekanisme sistem kekebalan tubuh manusia, yaitu bawaan dan adaptif.

### 9.3.1 Struktur dan Fungsi Sistem Kekebalan

Meskipun organ-organ tubuh tertentu (terutama organ limfoid) terlibat erat dalam respons kekebalan tubuh, tetapi sistem kekebalan merupakan sistem yang lebih bersifat fungsional daripada sistem organ dalam arti anatomis. Strukturnya terdiri dari susunan molekul yang beragam ditambah triliunan sel kekebalan (terutama limfosit) yang menghuni jaringan limfoid dan bersirkulasi dalam cairan tubuh. Dahulu, istilah sistem imun disamakan dengan sistem pertahanan adaptif saja.

Namun, sekarang terkenal dengan sistem kekebalan bawaan dan adaptif yang saling terkait. Secara khusus (Marieb and Hoehn, 2013):

1. Sistem bawaan dan adaptif melepaskan dan mengenali banyak molekul pertahanan yang sama.
2. Respons bawaan tidak spesifik seperti sistem adaptif, walaupun memiliki jalur khusus untuk menargetkan zat asing tertentu.
3. Protein yang dilepaskan selama respons bawaan memperingatkan sel-sel sistem adaptif akan keberadaan molekul asing tertentu di dalam tubuh. Ketika sistem kekebalan tubuh bekerja secara efektif, sistem kekebalan tubuh melindungi tubuh dari sebagian besar mikroorganisme patogen. Sistem kekebalan bekerja secara langsung dengan menyerang sel, serta secara tidak langsung dengan melepaskan bahan kimia penggerak dan molekul antibodi pelindung.

#### **Sistem Kekebalan Bawaan**

Pertahanan bawaan adalah bagian yang tidak terpisahkan dari anatomi kita, penghalang mekanis yang menutupi permukaan tubuh, sel-sel, serta bahan kimia yang bekerja di garis depan sudah ada sejak lahir, siap untuk menangkal patogen yang menyerang. Sering kali, pertahanan bawaan kita sendiri menangkal infeksi dengan menghancurkan patogen. Dalam kasus lain, sistem kekebalan adaptif dipanggil untuk beraksi dalam memperkuat dan meningkatkan pertahanan bawaan.

Garis pertahanan pertama tubuh adalah kulit dan selaput lendir, bersama dengan sekresi yang dihasilkannya. Selama epidermis tidak terputus, membran epitel yang mengandung banyak keratin ini merupakan penghalang fisik yang tangguh bagi sebagian besar mikroorganisme yang berkerumun di kulit. Keratin juga

tahan terhadap sebagian besar asam dan basa lemah serta enzim dan racun bakteri. Mukosa yang utuh memberikan penghalang mekanis yang serupa di dalam tubuh. Ingatlah bahwa selaput lendir melapisi semua rongga tubuh yang terbuka ke bagian luar: saluran pencernaan, pernapasan, saluran kemih, dan saluran reproduksi.

Selain berfungsi sebagai penghalang fisik, kulit dan selaput lendir menghasilkan berbagai bahan kimia pelindung, yaitu:

1. Acid

Keasaman sekresi kulit, vagina, dan asam lambung dapat menghambat pertumbuhan bakteri.

2. Enzyme

*Lisozim* ditemukan dalam air liur, lendir pernapasan, dan cairan *lakrimal* mata-menghancurkan bakteri. Enzim pencernaan protein di dalam perut membunuh berbagai mikroorganisme.

3. Mucin

Mucin yang dilarutkan dalam air membentuk lendir kental dan lengket yang melapisi saluran pencernaan dan pernapasan. Lendir ini menjebak banyak mikroorganisme. Sebaliknya, *mucin* dalam air liur yang encer menjebak mikroorganisme dan membawanya keluar dari mulut ke dalam perut untuk dicerna.

4. Defensin

Selaput lendir dan kulit mengeluarkan sejumlah kecil peptida anti mikroba berspektrum luas yang disebut *defensin*. Produksi *defensin* meningkat secara dramatis sebagai respons terhadap peradangan ketika penghalang permukaan dilanggar.

5. Bahan kimia lainnya

Pada kulit, beberapa lipid dalam sebum dan *dermcidin* dalam keringat ekrin bersifat toksik bagi bakteri

Mukosa saluran pernapasan juga memiliki modifikasi struktural yang menangkal benda asing yang berpotensi menjadi patogen. Rambut-rambut kecil berlapis lendir di dalam hidung menjebak partikel yang terhirup, dan *silia* pada mukosa saluran pernapasan bagian atas menyapu lendir yang mengandung debu dan bakteri ke arah mulut, mencegahnya masuk ke saluran pernapasan

bagian bawah, karena lingkungan yang hangat dan lembab dapat menjadi tempat yang ideal untuk pertumbuhan bakteri.

Meskipun penghalang permukaan cukup efektif, tetapi dapat ditembus oleh mikroorganisme dengan adanya luka. Saat hal ini terjadi dan mikroorganisme menyerang jaringan yang lebih dalam, maka pertahanan bawaan internal atau garis pertahanan kedua mulai bekerja. Pada garis pertahanan kedua ini, tubuh menggunakan sejumlah besar mekanisme seluler dan kimiawi yang tidak spesifik untuk melindungi dirinya, yaitu fagosit, sel pembunuh alami, reaksi peradangan, protein anti mikroba, dan reaksi demam.

Patogen yang masuk melalui kulit atau mukosa ke dalam jaringan ikat di bawahnya akan berhadapan dengan sel fagosit. *Neutrofil* adalah sel darah putih yang paling banyak menjadi sel fagosit ketika bertemu dengan bahan infeksi dalam jaringan.

Namun, sel yang memiliki daya fagosit terbesar adalah *makrofag* yang merupakan sel darah putih dan dikenal dengan sebutan monosit. Monosit tersebut meninggalkan aliran darah, masuk ke dalam jaringan, dan berkembang menjadi *makrofag*. *Makrofag* bebas berkeliaran di seluruh ruang jaringan untuk mencari puing-puing seluler atau mikroorganisme patogen. Sedangkan *makrofag* tetap adalah *makrofag* penghuni permanen suatu organ tertentu. Apa pun mobilitasnya, semua *makrofag* adalah serupa secara struktural dan secara fungsional.

Selain sel fagosit, terdapat juga sel pembunuh alami atau dapat disingkat dengan sel NK (natural killer cells) yang mengawasi darah dan getah bening dari mikroorganisme patogen. Sel ini adalah kelompok sel pertahanan yang unik karena dapat melisiskan dan membunuh sel kanker dan sel tubuh yang terinfeksi virus sebelum sistem kekebalan adaptif diaktifkan.

Sel NK adalah bagian dari sekelompok kecil limfosit *granular* besar. Tidak seperti limfosit dari sistem kekebalan adaptif, yang hanya mengenali dan bereaksi terhadap sel yang terinfeksi virus atau tumor tertentu, sel NK tidak terlalu pilih-pilih atau bereaksi terhadap semua mikroorganisme patogen. Sel ini dapat melenyapkan berbagai sel yang terinfeksi atau kanker dengan mendeteksi kelainan umum seperti kurangnya protein permukaan sel yang disebut MHC.

Nama sel NK mencerminkan ketidakspezifikkannya dan tidak bersifat *fagositik*. Sel NK membunuh dengan cara mendekati sel target secara langsung, mendorongnya untuk mengalami *apoptosis* (kematian sel terprogram). Ini

adalah metode pembunuhan yang sama dengan yang digunakan oleh sel T sitotoksik. Sel NK juga mengeluarkan zat bahan kimia kuat yang meningkatkan respons inflamasi.

Respons inflamasi dipicu setiap kali jaringan tubuh terluka oleh trauma fisik (pukulan), panas yang hebat, bahan kimia yang mengiritasi, atau infeksi oleh virus, jamur, atau bakteri.

Respons inflamasi memiliki beberapa efek yang menguntungkan, yaitu:

1. mencegah penyebaran agen yang merusak ke jaringan di dekatnya;
2. membuang puing-puing sel dan patogen;
3. memberi tahu sistem kekebalan adaptif;
4. menetapkan tahap untuk perbaikan.

Empat tanda utama dari peradangan jangka pendek atau akut adalah kemerahan, panas, bengkak, dan nyeri. Selain empat tanda tersebut, terdapat gangguan fungsi sebagai tanda utama kelima. Respons inflamasi melibatkan *makrofag*, sel *mast*, semua jenis sel darah putih, dan lusinan bahan kimia yang membunuh patogen dan membantu memperbaiki jaringan.

Taktik perlindungan ini mengidentifikasi zat-zat yang berpotensi berbahaya dengan mengenali (mengikat erat) karbohidrat permukaan yang ada pada mikroorganisme infeksius (bakteri, virus, dan jamur) tetapi tidak pada sel manusia. Peradangan diawali dengan pelepasan bahan kimia inflamasi, yang diikuti dengan *vasodilatasi* dan peningkatan permeabilitas vaskular, serta mobilisasi fagosit untuk memfasilitasi proses penyembuhan tubuh.

Selanjutnya sistem kekebalan bawaan juga memiliki protein anti mikroba. Berbagai protein anti mikroba meningkatkan pertahanan tubuh kita dengan menyerang mikroorganisme secara langsung atau dengan menghalangi kemampuan mereka untuk bereproduksi. Protein anti mikroba yang paling penting adalah interferon dan protein komplemen.

Virus merupakan asam nukleat yang dikelilingi oleh selubung protein dan tidak memiliki organel seluler lainnya untuk menghasilkan ATP atau menyintesis protein. Virus menginfeksi tubuh dengan menyerang sel-sel jaringan dan mengambil alih mesin metabolisme seluler yang diperlukan untuk mereplikasi virus tersebut.

Sel-sel yang terinfeksi tidak dapat berbuat banyak untuk menyelamatkan dirinya, tetapi beberapa dapat mengeluarkan protein kecil yang disebut

interferon (IFN) untuk membantu melindungi sel-sel yang belum terinfeksi. IFN berdifusi ke sel-sel di dekatnya, yang dirangsang untuk menyintesis protein pengganggu replikasi virus dalam sel yang masih sehat dengan memblokir sintesis protein dan mendegradasi RNA virus. Perlindungan IFN tidak spesifik untuk virus tertentu, IFN yang diproduksi untuk melawan virus tertentu juga dapat melindungi dari virus lain.

IFN adalah keluarga protein pemodulasi kekebalan yang diproduksi oleh berbagai sel tubuh, yang masing-masing memiliki efek fisiologis yang sedikit berbeda. IFN alfa ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ) memiliki efek antivirus yang baru saja kami jelaskan dan juga mengaktifkan sel NK. Interferon lain, IFN gamma ( $\gamma$ ) atau interferon imun disekresikan oleh limfosit dan memiliki efek pengerahan kekebalan yang luas, seperti mengaktifkan *makrofag*. Karena *makrofag* dan sel NK juga dapat bertindak secara langsung melawan sel kanker, interferon memiliki peran tidak langsung dalam melawan kanker.

Secara genetik, IFN merupakan suatu zat yang dapat digunakan untuk menyelesaikan beberapa gangguan termasuk hepatitis C, kutil kelamin, multipel *sclerosis*, dan leukemia sel berbulu. Sedangkan dari sisi yang lain, sistem komplemen juga dapat terbentuk dari sekelompok protein plasma. Setidaknya, 20 protein plasma yang biasa beredar dalam pembuluh darah berada pada kondisi yang tidak aktif. Protein ini dapat disebut dengan C1 hingga C9, faktor B, D, dan P, serta ditambah dengan beberapa regulasi protein. Mekanisme utama dari komplemen ini adalah untuk menghancurkan zat-zat asing di dalam tubuh.

Aktivasi dimulai dengan pelepasan reaksi inflamasi dari bahan kimia yang memperkuat hampir semua aspek dalam proses peradangan. Komponen komplemen yang sedang aktif dapat melisis dan membunuh bakteri tertentu atau mikroorganisme lainnya. Manusia memiliki sel yang dapat menghambat aktivasi mekanisme komplemen sehingga terhindar dari dampak ini. Meskipun komplemen adalah bukan merupakan mekanisme pertahanan spesifik, tetapi hal itu dapat melengkapi atau meningkatkan efektivitas kedua kelompok sistem pertahanan, yaitu bawaan dan adaptif.

Peradangan adalah respons lokal terhadap infeksi, tetapi terkadang respons tubuh terhadap invasi mikroorganisme lebih luas. Demam atau suhu tubuh yang tinggi adalah respons sistemik terhadap mikroorganisme yang menyerang. Demam adalah respons adaptif yang tampaknya bermanfaat bagi tubuh. Ketika

leukosit dan *makrofag* terpapar zat asing di dalam tubuh, tubuh bereaksi melepaskan bahan kimia yang disebut *pirogen*.

*Pirogen* ini bekerja pada termostat tubuh atau sekelompok neuron di hipotalamus untuk meningkatkan suhu tubuh menjadi di atas normal ( $37^{\circ}\text{C}$  atau  $98,6^{\circ}\text{F}$ ). Demam menyebabkan hati dan limpa menyerap zat besi dan seng sehingga tidak mendukung pertumbuhan bakteri. Selain itu, demam dapat mempercepat laju metabolisme di tingkat jaringan sel secara umum dan meningkatkan proses perbaikan (Marieb and Hoehn, 2013; Black and Hawks, 2014; Nicholson, 2016; Lewis, Williams and Eisenbarth, 2019).

### **Sistem Kekebalan Adaptif**

Berbeda dengan sistem kekebalan bawaan yang selalu siap dan mampu bereaksi, sistem adaptif harus bertemu atau dipersiapkan dengan paparan awal terhadap zat asing (antigen) tertentu. Hanya dengan begitu sistem pertahanan ini dapat melindungi tubuh terhadap patogen itu melalui pembentukan antibodi. Antibodi ini yang menjadi pertahanan adaptif dari antigen tertentu hingga masa mendatang. Bahkan serum antibodi ini jika disuntikkan ke manusia yang belum terpapar patogen maka manusia tersebut juga akan terlindungi.

Terdapat tiga hal penting dari sistem kekebalan adaptif, yaitu:

1. Bersifat spesifik, mengenali dan menargetkan patogen tertentu atau zat asing yang memulai respons sistem kekebalan ini.
2. Bersifat sistemik, tidak terbatas pada infeksi awal yang terlokalisasi.
3. Memiliki memori, terbentuk memori pada paparan awal dan terus diingat untuk seterusnya, serta mengenali bila terpapar lagi dan memberikan perlawanan yang lebih kuat dari sebelumnya kepada patogen tersebut.

Selanjutnya sistem kekebalan adaptif memiliki dua mekanisme yang berbeda tetapi dalam menjalankan tugasnya dapat bergantian ataupun bersamaan dalam mempertahankan tubuh dari patogen, yaitu kekebalan humoral atau kekebalan yang diperantarai oleh antibodi dan kekebalan seluler atau kekebalan yang diperantarai oleh sel. Kedua mekanisme ini dapat bereaksi bila terpapar dengan antigen.

Antigen adalah zat yang dapat memobilisasi kekebalan adaptif dan memicu respons mekanismenya. Antigen adalah target utama dari semua respons kekebalan adaptif. Sebagian besar antigen berukuran besar, molekulnya

kompleks (baik alami maupun sintetis), tidak biasanya ada di dalam tubuh sehingga sistem kekebalan tubuh mendeteksinya sebagai penyusup atau bukan bagian dari tubuh.

Sistem kekebalan adaptif melibatkan tiga jenis sel yang sangat penting, yaitu: dua populasi limfosit yang berbeda dan ditambah dengan sel pembawa antigen (APC). Limfosit B mengawasi kekebalan humoral, limfosit T adalah limfosit non-antibodi yang merupakan satu bagian kekebalan seluler adaptif, dan APC tidak merespons antigen spesifik, tetapi APC memainkan peran tambahan yang penting dalam sistem kekebalan adaptif.

Walaupun limfosit B dan T merupakan dua sel yang berbeda, tetapi keduanya memiliki pola perkembangan yang sama dan langkah-langkah yang sama dalam siklus hidupnya. Pada awalnya, sama seperti sel darah lainnya, limfosit berasal dari sumsum merah tulang. Kemudian masuk ke tahap pematangan melalui proses seleksi sehingga memiliki kompetensi dalam pertahanan tubuh di *Thymus* dan Sumsum Tulang. Sel B dan T yang telah kompeten serta belum terpapar antigen akan berpindah dari organ limfoid primer untuk dapat bergabung dengan organ limfoid sekunder agar dapat bertemu dengan antigen. Sering kali pertemuannya terjadi di kelenjar getah bening. Setelah bertemu dengan antigen maka sel limfosit B dan T berkembang biak dengan cepat.

Sel pembawa antigen (APC) menangkap antigen dan kemudian menandai antigen tersebut pada bagian tertentu di permukaannya sehingga sel T dapat mengenalinya. Sel T hanya dapat diaktifkan bila terpapar dengan antigen yang ditandai melalui protein MHC (Major Histocompatibility Complex) oleh APC.

Dengan kata lain, APC memberikan tanda pada antigen ke sel T yang akan menangani antigen tersebut. Jenis sel utama yang bertindak sebagai APC adalah sel *dendritik*, *makrofag*, dan limfosit B. Singkatnya, sistem kekebalan adaptif menggunakan limfosit, APC, dan molekul spesifik untuk mengidentifikasi dan menghancurkan semua patogen atau benda asing, baik yang hidup maupun yang tidak hidup, berada dalam tubuh dan identik dengan sel tubuh tetapi tidak dikenali sebagai dirinya sendiri.

Respons sistem terhadap patogen tersebut bergantung pada kemampuannya untuk mengenali antigen dengan mengikatnya dan berkomunikasi satu sama lain sehingga seluruh sistem memberikan respons yang spesifik terhadap antigen tersebut, dalam hal ini adalah interaksi antar berbagai limfosit dan antara limfosit dengan APC.

Limfosit B yang kompeten menjadi aktif ketika terpapar antigen dan dapat berikatan dengan reseptor permukaannya. Ikatan dengan antigen tersebut diikuti dengan *endositosis*, yaitu proliferasi dan diferensiasi menjadi sel efektor atau interaksi dengan sel T untuk membantu sel B mencapai aktivasi penuh.

Sebagian besar sel B yang telah berdiferensiasi menjadi sel plasma dan menyekresi antibodi sebagai respons dari kekebalan *humoral*. Sel plasma mengembangkan mesin internal yang rumit (sebagian besar terjadi di retikulum endoplasma kasar) yang diperlukan untuk mengeluarkan antibodi dengan kecepatan yang luar biasa, yaitu sekitar 2000 molekul per detik. Setiap sel plasma berfungsi dengan kecepatan yang sangat tinggi ini selama 4 hingga 5 hari dan kemudian mati.

Antibodi yang disekresikan, masing-masing dengan sifat pengikatan antigen yang sama dengan molekul reseptor pada permukaan sel B induk, beredar di dalam darah atau getah bening. Di sana mereka mengikat antigen bebas dan menandainya untuk dihancurkan oleh mekanisme bawaan atau adaptif lainnya. Replikasi sel B lainnya yang tidak menjadi sel plasma akan menjadi sel memori yang berumur panjang dan sel ini dapat memberikan respons humoral yang hampir sama ketika bertemu dengan antigen yang sama di masa mendatang.

Saat sel B bertemu dengan antigen dan tubuh memproduksi antibodi terhadapnya, maka hal ini dinamakan kekebalan humoral aktif. Kekebalan ini diperoleh dengan dua cara, yaitu diperoleh secara alami ketika terpapar infeksi bakteri atau virus sehingga mengalami gejala penyakit atau menderita sedikit dan diperoleh secara artifisial ketika menerima vaksin.

Sedangkan kekebalan humoral pasif tidak merangsang tubuh untuk membentuk antibodi sehingga tidak memberikan perlindungan sebaik kekebalan humoral aktif, dalam hal sumber maupun tingkat perlindungan yang diberikannya. Kekebalan pasif juga dapat diberikan secara artifisial dengan memberikan antibodi eksogen (dari luar tubuh) yang diambil dari plasma donor yang sudah terbentuk kekebalan humoralnya. Antibodi eksogen dapat digunakan untuk mencegah dan mengobati tubuh dari patogen, tetapi efeknya tidak lama (dua sampai tiga minggu).

Antibodi juga dapat disebut dengan imunoglobulin (Ig) yang merupakan gamma globulin, yaitu bagian dari protein darah. Antibodi adalah protein darah atau plasma yang disekresikan oleh sel B sebagai respons dari terpaparnya antigen. Antibodi mengikat secara khusus antigen tersebut atau setiap antigen

memiliki antibodinya masing-masing. Immunoglobulin utama yang telah ditetapkan adalah IgM, IgA, IgD, IgG, dan IgE.

Setiap antibodi memiliki karakteristik, peran biologis, dan lokasi yang berbeda di dalam tubuh. IgM dalam plasma sangat besar dibandingkan dengan antibodi lainnya. Antibodi ini dibuat dari lima unit berbentuk Y atau monomer yang dihubungkan bersama untuk membentuk *pentamer*. IgA terdapat dalam bentuk monomer dan dimer (dua monomer yang terhubung). IgD, IgG, dan IgE adalah monomer dan memiliki struktur dasar berbentuk Y yang sama.

Satu sel B dapat beralih dari membuat satu jenis antibodi ke jenis antibodi lainnya, sehingga dapat menghasilkan dua atau lebih jenis antibodi yang berbeda dengan spesifikasi masing-masing. Contoh: antibodi yang pertama dilepaskan pada respons primer adalah IgM, kemudian sel plasma mulai mengeluarkan IgG selama respon sekunder, dan hampir semua protein Ig adalah IgG.

Meskipun antibodi tidak dapat menghancurkan antigen, antibodi dapat menonaktifkan antigen dan menandainya untuk dihancurkan. Peristiwa umum dalam semua interaksi ini adalah pembentukan kompleks antibodi dan antigen pada sistem kekebalan adaptif. Mekanisme pertahanan yang digunakan oleh antibodi meliputi netralisasi, aglutinasi, presipitasi, dan fiksasi komplemen, walaupun yang paling penting adalah dua mekanisme yang pertama.

Limfosit sel T paling cocok untuk interaksi antar sel, saat antigen terpapar ke sel tersebut karena dapat memicu respons kekebalan adaptif seluler. Beberapa sel T yang teraktivasi secara langsung membunuh sel-sel tubuh yang terinfeksi oleh virus atau bakteri, sel tubuh yang abnormal atau kanker; dan sel dari jaringan asing yang dimasukkan atau ditransplantasikan ke dalam tubuh.

Selain itu, Sel T juga dapat melepaskan bahan kimia dalam pengaturan respons dari fungsi pertahanannya. Sel T yang memediasi kekebalan adaptif seluler sangat beragam, jauh lebih kompleks daripada sel B baik dalam klasifikasi maupun fungsinya. Ada dua populasi utama sel T berdasarkan komposisi dua *glikoprotein* diferensiasi sel yang terkait secara struktural, yaitu CD4 dan CD8.

Ketika diaktifkan, sel CD4 dan CD8 terdiferensiasi menjadi tiga jenis utama sel efektor imunitas seluler, yaitu:

1. Sel CD4 biasanya menjadi sel T penolong (Th) yang membantu mengaktifkan sel B, sel T lain, dan makrofag, serta mengarahkan respons kekebalan adaptif.

2. Sel CD8 menjadi sel T sitotoksik (Tc) yang menghancurkan sel apa pun di dalam tubuh yang menampung benda asing.
3. Beberapa sel CD4 menjadi sel T pengatur (Treg), yang berperan dalam pengaturan respons kekebalan.

Sel CD4 dan CD8 yang telah aktif juga dapat menjadi memori Sel T. Pada nama-nama sel efektor (penolong, sitotoksik, pengatur) dicadangkan untuk sel T yang diaktifkan, sedangkan sel T yang belum aktif hanya disebut sel CD4 atau CD8. Bagian protein permukaan antigen yang terpapar ke sel T disebut protein MHC.

Seperti yang bisa Anda duga, kita perlu memahami bagaimana para pemain penting dalam presentasi antigen ini bekerja sebelum kita dapat memahami bagaimana sel T bekerja. Ada dua kelas protein MHC protein MHC kelas I dan protein MHC kelas II (Marieb and Hoehn, 2013; Liao and von der Weid, 2015; Nicholson, 2016; Padera, Meijer and Munn, 2016; Lewis, Williams and Eisenbarth, 2019).

# Bab 10

## Struktur dan Fungsi Sistem Pernapasan

### 10.1 Pendahuluan

Pernapasan adalah proses mempertahankan kehidupan dimana gas dipertukarkan antara tubuh dan atmosfer luar. Secara khusus, oksigen bergerak dari udara luar ke dalam tubuh, dan uap air, karbondioksida dan gas limbah lainnya berpindah dari dalam tubuh ke udara luar. Pernapasan dilakukan terutama oleh sistem pernapasan. Perlu diketahui bahwa pernapasan oleh sistem pernapasan bukan merupakan proses yang sama dengan pernapasan seluler yang terjadi dalam sel, meskipun kedua proses tersebut berhubungan erat.

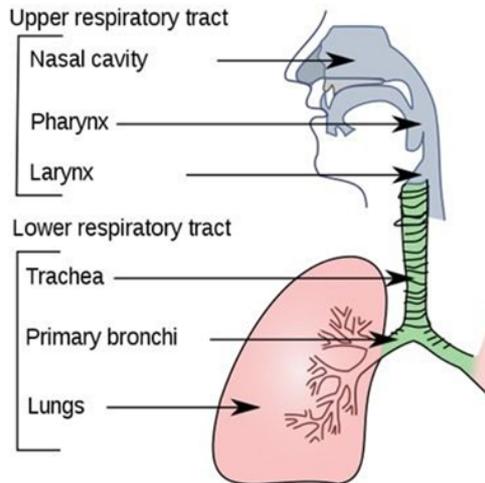
Pernapasan seluler adalah metabolisme dimana sel memperoleh energi, biasanya dengan membakar glukosa dengan adanya oksigen. Ketika pernapasan seluler bersifat aerobik, maka menggunakan oksigen dan melepaskan karbondioksida sebagai produk limbah. Pernapasan oleh sistem pernapasan memasok oksigen yang dibutuhkan oleh sel untuk pernapasan seluler aerobik dan menghilangkan karbondioksida yang dihasilkan oleh sel selama pernapasan seluler.

Pernapasan oleh sistem pernapasan melibatkan dua proses tambahan. Salah satu prosesnya adalah ventilasi. Ventilasi adalah proses mengalirkan udara ke dan

dari paru-paru. Proses lainnya adalah pertukaran gas, yaitu proses biokimia dimana oksigen berdifusi keluar dari udara dan masuk ke dalam darah sementara karbondioksida dan gas lainnya berdifusi keluar dari darah dan masuk ke udara. Semua organ pernapasan terlibat dalam pernapasan, tetapi hanya paru-paru yang terlibat dalam pertukaran gas.

## 10.2 Struktur Sistem Pernapasan

Organ-organ sistem pernapasan membentuk sistem saluran yang berkelanjutan yang disebut dengan saluran pernapasan, dimana udara mengalir masuk dan keluar dari tubuh. Saluran pernapasan terdiri dari saluran pernapasan atas dan saluran pernapasan bawah. Organ-organ saluran pernapasan ditunjukkan dalam Gambar 10.1.



**Gambar 10.1:** Struktur Sistem Pernapasan (Wakim & Grewal, 2023)

Selain organ-organ tersebut, otot-otot tertentu pada toraks (rongga tubuh yang mengisi dada) juga terlibat dalam pernapasan dengan mengaktifkan pernapasan. Otot yang sangat penting terlibat dalam proses pernapasan adalah diafragma, yaitu otot yang terletak di bawah paru-paru dan memisahkan toraks dari perut.

Selain itu terdapat otot yang lebih kecil diantara tulang rusuk yang terlibat juga dalam pernapasan.

### 10.2.1 Saluran Pernapasan Atas

Semua organ dan struktur dari saluran pernapasan bagian atas terlibat dalam pergerakan udara yang masuk dan keluar tubuh. Organ saluran pernapasan bagian atas merupakan jalan bagi udara untuk bergerak antara atmosfer luar dan paru-paru. Organ-organ tersebut terlibat dalam proses membersihkan, melembabkan dan menghangatkan udara yang masuk. Namun, tidak ada pertukaran gas yang terjadi di organ-organ ini.

#### **Rongga Hidung**

Rongga hidung adalah ruang besar berisi udara di tengkorak atas dan di belakang hidung tengah wajah. Rongga hidung merupakan saluran lanjutan dari dua lubang hidung. Saat udara yang dihirup mengalir melalui rongga hidung, udara dihangatkan dan dilembabkan. Rambut di hidung membantu menyaring partikel asing yang lebih besar di udara sebelum masuk lebih dalam ke saluran pernapasan.

Selain fungsi pernapasannya, rongga hidung juga mengandung kemoreseptor yang dibutuhkan untuk indra penciuman dan berperan penting sebagai indera perasa.

#### **Faring**

Faring adalah struktur seperti tabung yang menghubungkan rongga hidung dan bagian belakang mulut ke struktur lain yang lebih rendah di tenggorokan, termasuk faring. Faring memiliki fungsi ganda yaitu saat udara dan makanan (atau zat lain yang tertelan) melewatinya, maka faring berfungsi sebagai sistem pernapasan dan pencernaan.

Faring berfungsi sebagai saluran pernapasan ketika udara mengalir dari rongga hidung melalui faring ke laring (serta ke arah yang berlawanan). Faring berfungsi sebagai saluran pencernaan ketika makanan melewati dari mulut melalui faring ke esofagus (kerongkongan)

#### **Laring**

Laring menghubungkan faring dan trakea dan membantu mengalirkan udara melalui saluran pernapasan. Laring disebut juga kotak suara karena mengandung pita suara, yang bergetar saat udara mengalir di atasnya, sehingga

menghasilkan suara. Otot-otot tertentu di laring menggerakkan pita suara terpisah untuk memungkinkan pernapasan. Otot lain di laring menggerakkan pita suara bersama untuk memungkinkan produksi vokal suara. Otot yang terakhir juga mengontrol nada suara dan membantu mengontrol volumenya.

Fungsi laring yang sangat penting adalah melindungi trakea dari aspirasi makanan. Saat proses menelan terjadi, gerakan lidah ke belakang memaksa epiglotis (sebagai penutup) untuk menutup pintu masuk ke laring. Hal ini mencegah bahan yang tertelan masuk ke laring dan bergerak lebih dalam ke dalam saluran pernapasan. Jika bahan yang tertelan mulai memasuki laring, laring akan teriritasi dan merangsang batuk yang kuat, sehingga akhirnya mengeluarkan bahan dari laring dan masuk ke tenggorokan.

## 10.2.2 Saluran Pernapasan Bawah

Trakea dan bagian lain dari saluran pernapasan bagian bawah mengalirkan udara antara saluran pernapasan bagian atas dan paru-paru. Bagian ini membentuk seperti pohon terbalik, dengan percabangan berulang saat bergerak lebih dalam ke paru-paru (Gambar 10.2).

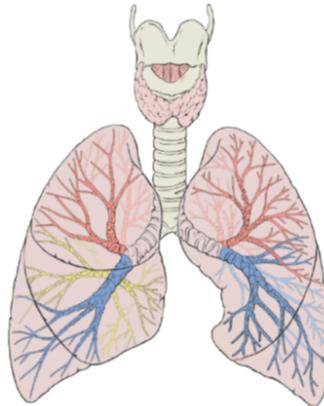
Secara keseluruhan terdapat saluran udara sepanjang 1.500 mil yang mengalirkan udara melalui saluran pernapasan manusia. Namun, hanya paru-paru yang merupakan satu-satunya organ dimana terjadi pertukaran gas antara udara dan aliran darah.

### **Trakea**

Trakea atau batang tenggorokan adalah saluran terluas di saluran pernapasan. Lebar trakea sekitar 2,5 cm dan panjang 10-15 cm. Trakea tersusun atas tulang rawan yang menyerupai cincin. Trakea menghubungkan laring ke paru-paru untuk jalan udara melalui saluran pernapasan. Cabang-cabang trakea dibagian bawah membentuk dua tabung bronkial.

### **Bronkus dan Bronkiolus**

Ada dua tabung bronkial utama atau bronkus, yaitu bronkus kanan dan kiri. Bronkus membawa udara antara trakea dan paru-paru. Setiap bronkus bercabang menjadi bronkus sekunder yang lebih kecil, dan bronkus sekunder bercabang menjadi bronkus sekunder yang lebih kecil lagi. Cabang bronkus terkecil menjadi tubulus yang sangat kecil yang disebut bronkiolus. Bronkiolus terkecil berakhir di saluran alveolar, yang berakhir dalam kelompok kantung udara yang sangat kecil yang disebut dengan alveoli.



**Gambar 10.2:** Gambar Percabangan Seperti Pohon Dari Saluran Pernapasan Bagian Bawah (Wakim & Grewal, 2023)

### Paru-Paru

Paru-paru adalah organ terbesar dari saluran pernapasan. Paru-paru dilapisi oleh lapisan pleura di dalam rongga dada. Paru-paru terdiri dari bagian yang disebut dengan lobus, dimana masing-masing lobus dipisahkan oleh jaringan ikat. Paru-paru kanan lebih besar, terdiri atas tiga lobus. Paru-paru kiri lebih kecil dan hanya terdiri dua lobus. Paru-Paru kiri yang lebih kecil memungkinkan ruang untuk jantung yang berada tepat di sebelah kiri tengah dada.

Jaringan paru-paru sebagian besar terdiri dari alveoli. Alveoli merupakan kantung udara kecil sebagai tempat pertukaran gas. Kedua paru-paru mengandung 700 juta alveoli sehingga memberikan area permukaan yang sangat besar untuk pertukaran gas. Setiap menarik napas, alveoli terisi udara sehingga membuat paru-paru mengembang. Ketika di alveoli, oksigen di udara diserap oleh darah di jaringan kapiler kecil yang mengelilingi alveoli. Darah di kapiler ini akan melepaskan karbondioksida ke udara di dalam alveoli. Pada saat setiap kali bernafas, udara meninggalkan alveoli dan mengalir ke atmosfer luar, membawa gas untuk dibuang.

Paru-paru menerima darah dari dua sumber utama. Paru-paru menerima darah yang kaya oksigen dari jantung. Darah menyerap oksigen di paru-paru dan membawanya kembali ke jantung untuk dipompa ke sel-sel di seluruh tubuh. Paru-paru juga menerima darah yang kaya oksigen dari jantung untuk proses pernapasan seluler yang terjadi di sel yang ada di paru-paru.

## 10.3 Fungsi Sistem Pernapasan

Fungsi utama sistem pernapasan adalah ventilasi paru, yaitu pergerakan udara antara atmosfer dan paru-paru melalui inspirasi dan ekspirasi yang digerakkan oleh otot-otot pernapasan. Sistem pernapasan bekerja secara keseluruhan untuk mengekstraksi oksigen dari udara yang dihirup dan menghilangkan karbondioksida dari tubuh melalui pernapasan. Saluran pernapasan bagian atas terutama memiliki fungsi penghantar udara, sedangkan saluran pernapasan bagian bawah berfungsi sebagai penghantar dan fungsi pernapasan.

Selain fungsi utamanya untuk mengalirkan udara ke saluran pernapasan bagian bawah, pernapasan bagian atas juga melakukan beberapa fungsi lainnya. Seperti disebutkan sebelumnya, rongga hidung dan sinus paranasal mengubah sifat udara dengan melembabkan dan menghangatkannya untuk mempersiapkan proses pernapasan. Udara juga disaring dari debu, patogen, dan partikel lain oleh folikel rambut hidung dan epitel siliasis.

Bagian saluran pernapasan bagian bawah, mulai dari bronkiolus pernapasan, merupakan tempat pertukaran gas mulai terjadi. Proses ini juga dikenal sebagai pernapasan eksternal, dimana oksigen dari udara yang dihirup berdifusi dari alveoli ke dalam kapiler yang berdekatan, sedangkan karbondioksida berdifusi dari kapiler ke dalam alveoli untuk dihembuskan. Darah yang baru teroksigenasi kemudian melanjutkan untuk memasok semua jaringan dalam tubuh dan mengalami pernapasan internal.

Ini adalah proses dimana oksigen dari sirkulasi sistemik bertukar dengan karbondioksida dari jaringan. Secara keseluruhan, perbedaan antara pernapasan eksternal dan internal adalah bahwa yang pertama mewakili pertukaran gas dengan lingkungan eksternal dan berlangsung di alveoli, sedangkan yang terakhir mewakili pertukaran gas didalam tubuh dan terjadi di jaringan.

Secara keseluruhan fungsi sistem pernapasan meliputi pertukaran gas, keseimbangan asam-basa, pertahanan dan metabolisme paru dan penanganan bahan bioaktif

### 1. Pertukaran Gas

Oksigen dari udara sekitar ditukar dengan karbondioksida yang diproduksi oleh sel-sel tubuh di alveoli paru-paru. Udara segar, yang mengandung oksigen, diinspirasi ke paru-paru melalui saluran udara konduksi. Kekuatan yang menyebabkan udara mengalir dihasilkan

oleh otot-otot pernapasan, yang bekerja atas perintah yang diprakarsai oleh sistem saraf pusat.

Pada saat yang sama, darah vena yang kembali dari berbagai jaringan tubuh dipompa ke paru-paru oleh ventrikel kanan jantung. Darah vena campuran ini memiliki kandungan karbondioksida yang tinggi dan kandungan oksigen yang rendah. Di kapiler paru, karbondioksida ditukar dengan oksigen dari alveoli. Darah yang meninggalkan paru-paru, yang sekarang memiliki kandungan oksigen yang tinggi dan kandungan karbondioksida yang relatif rendah, didistribusikan ke jaringan tubuh melalui sisi kiri jantung. Selama ekspirasi, gas dengan konsentrasi karbondioksida yang tinggi dikeluarkan dari tubuh.

## 2. Keseimbangan asam basa

Didalam tubuh, peningkatan karbondioksida menyebabkan peningkatan konsentrasi ion hidrogen (dan sebaliknya). Oleh karena itu, sistem pernapasan dapat berpartisipasi dalam keseimbangan asam basa dengan mengeluarkan karbondioksida dari tubuh. Sistem saraf pusat memiliki sensor untuk kadar karbondioksida dan ion hidrogen dalam darah arteri dan cairan serebrospinal yang mengirimkan informasi ke pengontrol pernapasan.

## 3. Menghasilkan suara (fonasi)

Fonasi adalah produksi suara oleh pergerakan udara melalui pita suara. Pidato, nyanyian dan suara lainnya dihasilkan oleh aksi pengontrol sistem saraf pusat pada otot pernapasan

## 4. Pertahanan dan metabolisme paru

Setiap nafas membawa sampel kecil dari lingkungan atmosfer lokal ke paru-paru. Ini mungkin termasuk mikroorganisme seperti bakteri, debu, partikel silika, gas beracun, asap (rokok dan jenis lainnya) dan polutan lainnya. Selain itu, suhu dan kelembaban atmosfer setempat sangat bervariasi.

## 5. Penanganan bahan bioaktif

Sel-sel paru-paru harus memetabolisme substrat untuk memasok energi dan nutrisi untuk pemeliharaannya sendiri. Beberapa sel paru khusus juga menghasilkan zat yang diperlukan untuk fungsi paru

normal. Selain itu, endotel kapiler paru mengandung sejumlah besar enzim yang dapat memproduksi, memetabolisme atau memodifikasi zat vasoaktif alami.

# Bab 11

## Struktur dan Fungsi Sistem Pencernaan

### 11.1 Pendahuluan

Sistem gastrointestinal, juga dikenal sebagai sistem pencernaan atau saluran pencernaan, memainkan peran penting dalam tubuh manusia dengan memfasilitasi masukan dan pemrosesan makanan dan nutrisi. Sistem pencernaan berperan dalam menjaga keseimbangan internal tubuh (homeostasis) melalui pemecahan makanan menjadi bentuk yang dapat diserap dan digunakan oleh sel-sel tubuh. Selain itu, sistem pencernaan juga menyerap air, vitamin, mineral, serta mengeluarkan zat sisa dari tubuh.

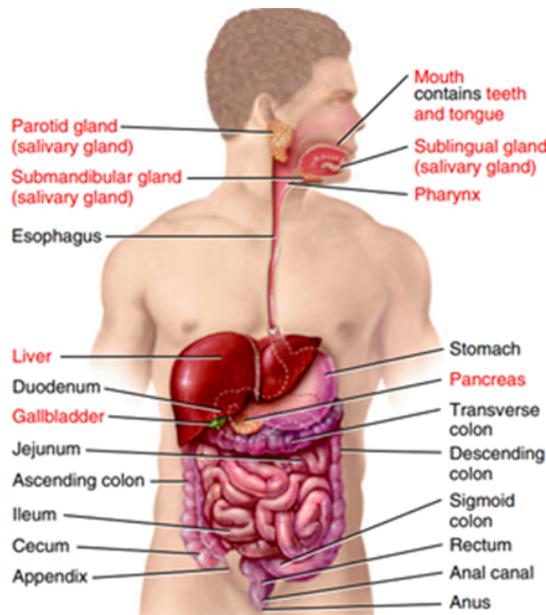
Anatomi sistem gastrointestinal merupakan sistem *tubular* yang memanjang dari mulut sampai dengan anus membentuk area permukaan yang luas yang berhubungan dengan lingkungan eksternal, dan terkait dengan sistem kardiovaskular (Gambar 11.1). Kombinasi antara paparan lingkungan yang luas dan keterkaitan dengan pembuluh darah sangat penting untuk memproses makanan yang kita makan.

Panjang saluran pencernaan (GI tract) pada individu yang hidup berkisar antara 5 hingga 7 meter, ketika otot-otot pada dinding organ-organ saluran pencernaan dalam keadaan kontraksi. Sistem ini meliputi mulut, faring, kerongkongan,

lambung, usus kecil, usus besar (kolon), rektum, dan anus. Selain itu, organ aksesori pencernaan yang membantu dalam proses ini meliputi gigi, lidah, kelenjar saliva, hati, pankreas, dan kantung empedu.

Gigi membantu dalam pemecahan fisik makanan, sedangkan lidah membantu dalam mengunyah dan menelan. Bagian lain dari sistem pencernaan, yaitu organ aksesoris, tidak pernah langsung bersentuhan dengan makanan. Organ tersebut menghasilkan atau menyimpan sekresi yang mengalir dalam saluran pencernaan melalui saluran, dimana sekresi tersebut membantu dalam pemecahan kimiawi makanan.

Dengan mengaduk secara fisik makanan dan menggerakkannya melalui saluran pencernaan dari kerongkongan hingga anus, kontraksi otot pada dinding saluran pencernaan secara fisik memecah makanan menjadi bagian yang lebih kecil. Selain itu, kontraksi tersebut membantu dalam pencernaan makanan dengan menggabungkannya dengan cairan yang dilepaskan ke dalam saluran pencernaan. Pemecahan kimiawi makanan terjadi sebagai akibat dari enzim yang diproduksi oleh sel-sel yang melapisi sistem pencernaan dan organ pencernaan lainnya.



**Gambar 11.1:** Struktur Sistem Pencernaan (Tortora & Derrickson, 2017)

Secara keseluruhan sistem pencernaan melakukan enam proses dasar (Tortora & Derrickson, 2017) yaitu:

1. Proses menelan makanan & cairan ke dalam mulut (ingestion).
2. Proses sekresi sel-sel dalam dinding saluran pencernaan dan organ pencernaan aksesoris yang mengeluarkan total 7 liter air, asam, basa, dan enzim ke dalam lumen (secretion).
3. Proses kontraksi dan relaksasi bergantian otot polos pada dinding saluran pencernaan untuk mencampur makanan dan sekresi serta mendorongnya menuju anus (mixing and propulsion).
4. Proses mekanik dan kimia memecah makanan yang dikonsumsi menjadi molekul-molekul kecil (digestion).
5. Proses perpindahan zat-zat yang telah dicerna dari saluran pencernaan ke dalam darah dan limfa (absorption).
6. Proses pengeluaran feses dari saluran pencernaan (defecation).

## 11.2 Struktur Sistem Cerna

### Lapisan Saluran Pencernaan

Lumen dinding bagian dalam saluran pencernaan, terdiri dari empat lapisan: *serosa*, submukosa, *muskularis*, dan mukosa (Ignatavicius et al., 2018). Mukosa, yang merupakan lapisan terdalam yang memiliki lapisan tipis otot polos dan sel-sel yang terspesialisasi dalam kelenjar eksokrin. Lapisan ini terutama terdiri dari jaringan epitel *kolumnar* sederhana dan memiliki banyak sel goblet yang mengeluarkan lendir. Tujuan utama lapisan ini adalah sekresi, penyerapan, dan perlindungan.

Lapisan mukosa terdiri dari 3 lapisan yaitu:

1. Lapisan epitelium, yang berhubungan langsung dengan konten pada saluran cerna.
2. Lamina propria yang mengandung pembuluh darah dan limfatik, yang merupakan rute absorpsi nutrisi.
3. Muscularis mucosa.

Submukosa, yang terdiri dari jaringan ikat dan mengandung darah, limfatik, otot, dan serabut saraf serta kelenjar, mengelilingi lapisan mukosa. Lapisan ini mengandung jaringan elastis yang membantu perut meregang saat makanan dikonsumsi dan kembali seperti semula saat perut kosong. Selanjutnya lapisan submukosa dikelilingi oleh lapisan otot polos yang disebut *muscularis*. Lapisan ini terdiri dari otot polos melingkar dan memanjang yang bekerja untuk menjaga agar isi saluran pencernaan bergerak.

*Muscularis* pada mulut, faring, dan bagian atas dan tengah kerongkongan mengandung otot rangka yang menghasilkan gerakan menelan secara sadar (voluntary control). Otot rangka juga membentuk sfingter kanal anus eksternal, yang memungkinkan pengendalian secara sadar saat buang air besar. Pada bagian lain saluran pencernaan, *muskularis* terdiri dari otot polos yang umumnya tersusun dalam dua lapisan: lapisan serat melingkar di dalam dan lapisan serat memanjang di luar. Kontraksi tidak sadar (involuntary) otot polos membantu dalam pemecahan makanan, mencampurnya dengan sekresi pencernaan, dan mendorongnya melalui saluran pencernaan.

Lapisan terluar, yaitu *serosa*, terdiri dari jaringan ikat dan epitel gepeng sederhana (mesothelium). *Serosa* juga disebut sebagai peritoneum *viseral* karena merupakan bagian dari peritoneum. Kerongkongan tidak memiliki *serosa*, namun mengandung lapisan tunggal jaringan ikat *areolar* yang disebut *adventitia*, yang membentuk lapisan permukaan organ ini.

### **Inervasi Sistem Saraf Pada Saluran Pencernaan**

Saluran pencernaan diatur oleh satu set saraf intrinsik yang dikenal sebagai sistem saraf *enterik* dan oleh satu set saraf ekstrinsik yang merupakan bagian dari sistem saraf otonom.

Sistem saraf *enteric* (Enteric Nervous System) terletak di dinding saluran pencernaan sebagai *submucosa plexus* (plexus of Meissner) dan *myenteric plexus* (plexus of Aurbach) (Nezami & Srinivasan., 2010). *Plexus* pada sistem saraf *enterik* (ENS) terdiri dari neuron motorik, neuron *interneuron*, dan neuron *sensorik*. Jaringan saraf kompleks ini memungkinkan sistem pencernaan untuk tetap menjalankan fungsi dan menjaga sebagian struktur anatomi tanpa adanya input dari sistem saraf pusat.

### **Sistem Saraf Autonom (Autonomic Nervous System)**

Meskipun neuron-neuron dari Sistem Saraf Enterik (ENS) dapat berfungsi secara independen, mereka tunduk pada regulasi oleh neuron-neuron dari

Sistem Saraf Autonom. Saraf vagus (X) menyediakan serat-serat parasimpatis ke sebagian besar saluran pencernaan, kecuali separuh terakhir usus besar yang menerima serat-serat parasimpatis dari sumsum tulang belakang sakral. Parasimpatis terhubung ke saluran pencernaan melalui koneksi saraf dengan ENS.

Neuron *preganglionik parasimpatis* dari saraf *vagus* atau saraf *splanchnic pelvis* bersinaps dengan neuron *postganglionik parasimpatis* di pleksus *myenteric* dan submukosa. Beberapa neuron *postganglionik parasimpatis* ini bersinaps dengan neuron dalam ENS, sedangkan yang lain dapat langsung menginervasi otot polos dan kelenjar dalam dinding saluran pencernaan. Stimulasi saraf parasimpatis secara umum meningkatkan sekresi dan motilitas saluran pencernaan dengan meningkatkan aktivitas neuron ENS.

Saraf simpatis yang terhubung ke saluran pencernaan berasal dari daerah toraks dan lumbal atas sumsum tulang belakang. Saraf simpatis ini terhubung dengan ENS. Neuron *postganglionik simpatis* bersinaps dengan neuron dalam pleksus *myenteric* dan submukosa (Masliukov et al., 2022).

Secara umum, saraf simpatis di saluran pencernaan berperan dalam menghambat sekresi dan motilitas saluran pencernaan dengan menghambat neuron dalam ENS. Emosi seperti kemarahan, ketakutan, dan kecemasan dapat memperlambat pencernaan karena dapat merangsang saraf simpatis di saluran pencernaan.

## 11.3 Anatomi Fungsional Sistem Cerna

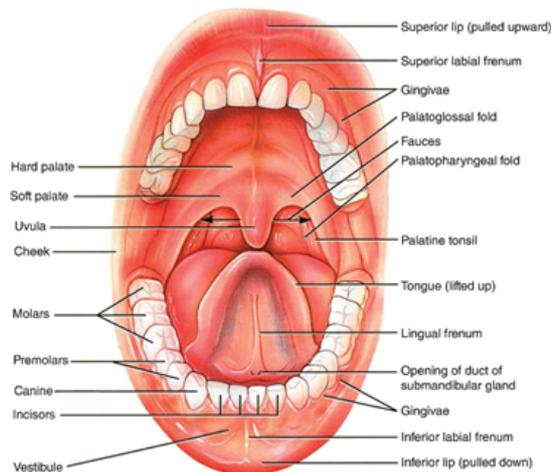
Sistem pencernaan terbagi menjadi dua bagian utama: saluran pencernaan (GI tract) dan kelenjar pencernaan tambahan. Berikut merupakan penjelasan bagian dan fungsi dari saluran pencernaan:

### 11.3.1 Mulut

Rongga mulut meliputi mukosa pipi (buccal mucosa), bibir, lidah, palatum, gigi dan kelenjar saliva (Gambar 11.2). Mulut dibatasi di bagian dalam oleh bibir, di samping oleh pipi; di bagian atas oleh langit-langit dan di bagian bawah oleh lidah. Bagian ini tertutupi oleh kulit di bagian luar dan oleh selaput lendir di

bagian dalam yang terdiri dari epitel *skuamosa* berlapis tak berkeratinisasi. Otot *buccinator* dan jaringan ikat terletak di antara kulit dan selaput lendir pipi.

Bibir merupakan penutup luar rongga oral, terdiri dari dua bagian yaitu bagian atas dan bagian bawah. Pada bibir terdapat otot *orbicularis oris*. Bibir membuka saat makanan masuk, selama mengunyah, kontraksi otot *buccinator* di pipi dan otot *orbicularis oris* di bibir membantu menjaga makanan di antara gigi atas dan gigi bawah untuk mempertahankan makanan di dalam mulut.



**Gambar 11.2:** Struktur Rongga Mulut (Tortora & Derrickson, 2017)

Langit-langit adalah dinding atau septum yang memisahkan rongga oral dari rongga hidung, dan membentuk atap mulut. Bagian depan langit-langit adalah palatum *durum* yang terbentuk oleh tulang *palatine*. Palatum *molle*, yang membentuk bagian posterior langit-langit mulut, adalah partisi otot berbentuk lengkungan antara *orofaring* dan nasofaring yang dilapisi oleh selaput lendir. Uvula adalah struktur otot berbentuk kerucut yang menggantung dari batas bebas palatum *molle*. Selama menelan, palatum *molle* dan uvula secara refleks bergerak ke arah superior, menutupi nasofaring dan mencegah makanan dan cairan yang ditelan masuk ke rongga hidung.

Saat mulut tertutup, lidah menempati sebagian besar rongga oral. Lidah terdiri dari bundel-bundel otot rangka. Saat mengunyah, lidah menggenggam makanan dan secara terus-menerus memosisikan makanan di antara gigi untuk pengunyahan yang tepat. Lidah membantu mencampur makanan dengan air liur dan pada akhirnya membentuk massa makanan yang padat, yang disebut *bolus*.

Orang dewasa normalnya memiliki 32 gigi permanen, dengan 16 gigi di setiap lengkung (atas dan bawah). Fungsi gigi melakukan berbagai aktivitas, termasuk memotong, merobek, menghancurkan, dan menggiling makanan untuk dicerna. Setelah makanan dimasukkan ke dalam mulut dan dikunyah, proses menelan dimulai. Air liur disekresikan oleh kelenjar saliva sebagai respons terhadap adanya makanan di mulut, dan berfungsi untuk melunakkan makanan agar lebih mudah ditelan.

Kelenjar aksesori yang terdapat di rongga mulut adalah kelenjar saliva. Kelenjar saliva dibagi menjadi tiga kelompok: kelenjar parotis, kelenjar *sublingual*, dan kelenjar *submandibular* (Alhaji & Babos, 2023). Kelenjar parotis terletak di antara kulit dan otot *masseter*, di bawah dan di depan telinga. Kelenjar *submandibular* terletak di dasar mulut.

Sedangkan kelenjar *sublingual* terletak di bawah lidah dan di atas kelenjar *submandibular*. Kandungan saliva terutama terdiri dari air, yang menyumbang sekitar 99.5% dari komposisinya, sementara 0.5% yang tersisa terdiri dari berbagai larutan. Larutan ini termasuk ion seperti natrium, kalium, klorida, bikarbonat, dan fosfat. Saliva juga mengandung gas yang larut dan berbagai zat organik, termasuk asam karbohidrat, lendir, imunoglobulin A, lysozyme (enzim bakteriolitik), dan amilase saliva. Konsentrasi air liur dapat bervariasi tergantung pada aktivitas kelenjar yang terlibat dalam salivasi. Stimulasi sel mukosa menyebabkan pelepasan sel liur tebal dan menempel, sedangkan dorongan sel-sel *serosa* menyebabkan air liur menjadi lembab (Alhaji & Babos, 2023).

Amilase saliva diaktifkan oleh ion klorida, yang menyebabkan pati di mulut terurai menjadi maltosa, *maltotriosa*, dan alfa dekstrin. Saliva juga memiliki fungsi untuk membersihkan mulut, melarutkan zat kimia dalam makanan untuk meningkatkan rasa, melembapkan makanan, dan membantu dalam pembentukan *bolus*. Sistem saraf otonom mengatur sekresi air liur. Jumlah air liur yang dikeluarkan setiap hari sangat bervariasi, yaitu antara 1000 dan 1500 ml (Bordoni et al, 2022).

### 11.3.2 Faring

Faring adalah tabung berbentuk tabung berongga yang membentang dari hidung bagian dalam ke esofagus di bagian posterior dan ke laring di bagian anterior. Makanan dari *orofaring* diteruskan ke *laringofaring*. Struktur histologis faring serupa dengan rongga mulut. Dinding saluran ini mengandung sel-sel yang memproduksi lendir.

Pada dinding faring juga tersusun dari otot-otot *skeletal*, dimana kontraksi otot tersebut mendorong makanan ke dalam esofagus. Faring dibagi menjadi tiga bagian yaitu nasofaring, *orofaring* dan *laringofaring* yang memiliki fungsi yang berbeda. Nasofaring hanya berfungsi dalam pernapasan, sedangkan *orofaring* dan *laringofaring* memiliki fungsi pencernaan serta pernafasan (Albahout & Lopez, 2022).

### 11.3.3 Esofagus

Esofagus adalah saluran tabung dengan lapisan otot (*muscular tube*) yang terletak di belakang *trachea* dan memiliki panjang sekitar 25 cm. Saluran ini melewati pusat diafragma dari faring ke lambung. Esofagus berfungsi untuk mengangkut makanan dan cairan dari faring ke lambung. Di bagian atas esofagus terdapat *sphincter* (*upper esophageal sphincter*). Bagian esofagus tepat di atas persimpangan *gastroesophageal* disebut *sphincter* esofagus bawah (*lower esophageal sphincter*).

Fungsi dari *sphincter esophagus* bawah adalah untuk mencegah isi lambung masuk kembali ke esofagus. Kelenjar sekresi mukosa yang melumasi lapisan dinding esofagus untuk membantu dalam pergerakan makanan. Lapisan otot esofagus menunjukkan beberapa fitur yang menarik dimana 1/3 atas *esophagus* terdiri dari otot-otot *skeletal*, 1/3 tengah adalah campuran dari kedua otot saraf atau halus, dan 1/3 bawah sepenuhnya terdiri dari serat otot halus.

Hal ini menyebabkan pergerakan makanan yang melalui esofagus dikontrol secara tidak sadar (*involuntary*) (Su et al., 2020). Bolus didorong ke depan oleh gerakan *peristalsis* yaitu serangkaian kontraksi terkoordinasi dan relaksasi lapisan lingkaran dan longitudinal otot. Makanan padat atau semi padat membutuhkan waktu 4 hingga 8 detik untuk bergerak dari mulut ke lambung, sedangkan makanan cair dan lunak membutuhkan waktu sekitar 1 detik (Tortora & Derrickson, 2017).

### 11.3.4 Lambung

Perut adalah perluasan saluran GI berbentuk J yang terletak tepat di bawah diafragma di perut. Lambung menghubungkan esofagus dan duodenum yang merupakan segmen pertama dari usus. Lambung berfungsi sebagai ruang untuk mencampur makanan dan penyimpanan makanan jangka pendek. Gerakan lambung menyebabkan makanan dipecah menjadi partikel-partikel kecil dan

bercampur dengan getah lambung membentuk Kimus (Chyme), dengan tekstur seperti pasta kental.

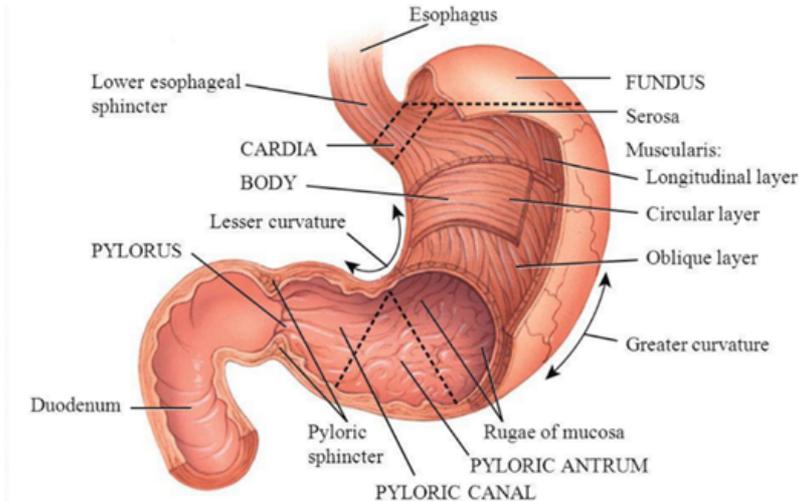
Lambung terletak di kuadran kiri atas rongga peritoneum. Organ ini memiliki empat bagian utama yaitu kardia, *fundus*, korpus, dan pilorus (McCance et al., 2018). Cardia adalah bagian sempit dari lambung yang berada di bawah *gastroesophageal* (GE) *junction*. *Fundus* adalah area yang paling dekat dengan kardia. Area utama lambung disebut sebagai korpus, dan bagian *antrum* (pilorus) adalah bagian distal lambung yang berbatasan dengan duodenum.

Pada bagian atas dan bawah lambung terdapat sfingter, yaitu sfingter *cardia* dan pilorus yang membantu dalam transportasi makanan melalui saluran pencernaan dan mencegah aliran balik kimus (Gambar 11.3). Ukuran lambung orang dewasa bervariasi antara 15-25 cm dan diameter serta volumenya bergantung pada jumlah makanan yang terdapat di dalamnya. Lambung yang kosong memiliki volume 50 ml, namun dapat juga menampung 4 liter makanan saat penuh (Tortora & Derrickson, 2017).

Sel otot polos di lambung bertanggung jawab atas pergerakan dan pencernaan makanan (gastric motility). Lambung memiliki lapisan otot khusus, yaitu lapisan miring (*oblique*), yang memungkinkannya mencampur dan menghancurkan makanan. Terdapat banyak sel *sekreteri* di lambung (gastric glands).

*Gastric glands* terbuka ke bagian bawah sel-sel sempit yang disebut *Gastric pit*. Sekresi dari beberapa sel-sel *sekreteri* mengalir ke setiap *gastric pit* dan kemudian ke dalam lumen lambung. Sel *parietal* (parietal cell) yang melapisi dinding lambung menghasilkan asam klorida, sedangkan sel utama (chief cell) menghasilkan pepsinogen yang merupakan prekursor pepsin.

Sel *parietal* juga menghasilkan faktor intrinsik, zat yang membantu penyerapan vitamin B12. Asam lambung (HCl) membuat lumen lambung bersifat asam (pH: 1.5 – 3.5), dimana kondisi ini penting untuk aktivasi dan aktivitas optimal pepsin lambung (Engevik, Kaji, & Goldenring, 2020). Lingkungan asam juga membunuh beberapa bakteri yang ada dalam makanan yang dikonsumsi.

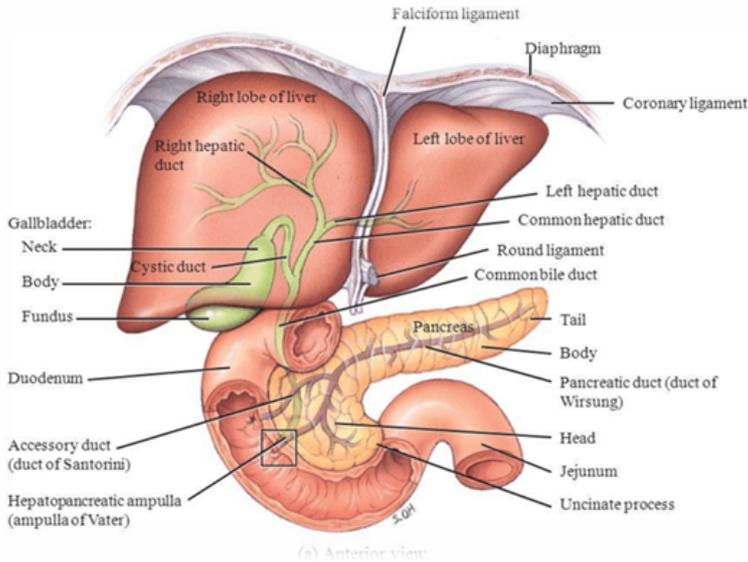


**Gambar 11.3:** Struktur Lambung (Tortora & Derrickson, 2017)

### 11.3.5 Pankreas

Pankreas adalah kelenjar *retroperitoneal* dengan panjang 12 – 15 cm yang terletak di posterior lengkung besar bagian lambung, dan dikelilingi oleh duodenum berbentuk "C" (Jarvis, 2016). Organ ini memiliki struktur lunak, dengan bagian yang diperpanjang disebut ekor pankreas dan bagian yang lebih luas disebut kepala pankreas.

Pankreas berfungsi sebagai organ pencernaan tambahan dan merupakan kelenjar campuran yang memiliki bagian eksokrin dan endokrin. Bagian eksokrin menghasilkan cairan pencernaan (pancreatic juice) yang kaya akan enzim yang dapat memecah karbohidrat, lemak, dan protein (seperti tripsin, kimotripsin, amilase, dan lipase). Getah pankreas ini kemudian masuk ke duodenum bersama dengan saluran empedu. Getah pankreas disekresikan oleh sel-sel eksokrin ke dalam saluran-saluran kecil yang akhirnya bersatu membentuk dua saluran yang lebih besar, saluran pankreas (duct of wirsung) dan saluran aksesori (duct of santorini).



**Gambar 11.4:** Struktur Pankreas, Hati, Kandung Empedu, dan Duodenum (Tortora & Derrickson, 2017)

Saluran ini bergabung dengan saluran empedu (common bile duct) dari hati dan kandung empedu, dan memasuki duodenum sebagai ampula *hepatopancreatic* atau ampula *vater* (Gambar 11.4). Otot polos di sekitar ampula dikenal sebagai sfingter dari ampula *hepatopancretic* (Sphincter of Oddi). Bagian endokrin pankreas menghasilkan hormon yang penting untuk fungsi tubuh normal.

Bagian ini terdiri dari pulau pankreas (Islets of Langerhans), dengan sel alfa yang memproduksi glukagon dan sel beta yang memproduksi insulin. Sementara glukagon berfungsi untuk meningkatkan gula darah, insulin berperan untuk menurunkan gula darah.

### 11.3.6 Hepar dan Kandung Empedu

Hepar adalah organ terbesar dan terberat dalam tubuh dengan berat rata-rata sekitar 1.4 kg pada orang dewasa. Hepar terletak di kuadran kanan atas (Right Upper Quadrant) rongga abdomen, di bawah diafragma dan dilindungi sepenuhnya oleh tulang iga.

Hepar dapat dibagi menjadi empat bagian atau *lobus*. Lobus terbesar disebut lobus kanan. Lobus kiri lebih kecil dan dipisahkan dari lobus kanan oleh celah yang dalam. Di regio posterior terbagi menjadi *lobus caudatus* dan *lobus quadratus*. Kedua lobus ini terlihat dalam tampilan lapisan inferior. Ligamen *falciform* memisahkan lobus kanan dan kiri dan menggantung hepar di dinding abdomen. Pada batas bebas ligamen *falciform* terdapat ligamen teres (round ligament), bagian ini merupakan sisa dari vena *umbilicalis* janin, tali *fibrosa* ini memanjang dari hati ke umbilikus.

Unit fungsional hepar disebut *lobulus* (hepatic lobule). Setiap *lobulus* tersusun atas struktur heksagonal yang mengandung *hepatosit* (sel-sel hepar). Terdapat sebuah vena sentral di tengah setiap *lobulus* dari mana sel-sel *hepatosit* memancar ke luar dalam bentuk piringan. Di masing-masing dari enam sudut *lobulus* terdapat struktur khusus yang disebut portal *triad*, yang terdiri dari cabang arteri *hepatik*, cabang vena portal *hepatika* & saluran empedu.

Hepar menerima darah dari arteri *hepatik* dan vena porta *hepatik*. Sementara arteri *hepatik* membawa darah yang kaya oksigen, vena porta *hepatik* membawa darah yang tidak teroksigenasi mengandung nutrisi yang baru diserap, obat-obatan, mikroba dan toksin dari saluran gastrointestinal. Cabang dari arteri *hepatik* dan vena porta *hepatik* mengalirkan darah ke sinusoid hati, di mana hepatosit menyerap oksigen, sebagian besar nutrisi, dan zat beracun tertentu. Produk yang diproduksi oleh *hepatosit* dan nutrisi yang dibutuhkan oleh sel lain kemudian disekresikan kembali ke dalam darah, yang mengalir ke vena pusat (central vein) dan akhirnya masuk ke vena *hepatik*. Sekitar 1500 ml aliran darah melalui hepar setiap menit.

Setiap hari, *hepatosit* mengeluarkan 800 – 1000 ml empedu, cairan kuning, coklat kemerahan, atau hijau zaitun. Empedu ini terutama terdiri dari air, garam empedu, kolesterol, lesitin, pigmen empedu, dan beberapa ion. Empedu hati disimpan sementara dalam kantong kecil yang disebut kantong empedu dari mana zat tersebut akan diteruskan ke usus halus. Kandung empedu adalah kantung berbentuk buah pir yang terletak di cekungan permukaan posterior hati. Panjangnya sekitar 7 – 10 cm dan tampak terlihat menggantung dari margin anterior inferior hati.

Hepar memiliki lebih banyak fungsi yang terbagi dalam tiga kategori utama yaitu penyimpanan, perlindungan, dan metabolisme. Hepar menyimpan banyak mineral dan vitamin, seperti zat besi, magnesium, dan vitamin larut lemak A, D, E, dan K. Fungsi perlindungan hepar melibatkan sel *Kupffer fagositik*, yang

merupakan bagian dari sistem *retikuloendotelial* tubuh. Cara kerjanya adalah dengan menelan bakteri berbahaya dan sel darah merah yang rusak. Hepar juga melakukan fungsi detoksifikasi senyawa yang berpotensi berbahaya (misalnya, obat-obatan, bahan kimia, alkohol).

Hepar juga berfungsi dalam metabolisme protein yang dianggap penting untuk kelangsungan hidup manusia. Hepar memecah asam amino untuk menghilangkan amonia, yang kemudian diubah menjadi urea dan diekskresikan melalui ginjal. Selain itu, hepar menyintesis beberapa protein plasma, termasuk albumin, protrombin, dan fibrinogen. Peran hepar dalam metabolisme karbohidrat melibatkan penyimpanan dan pelepasan glikogen sesuai dengan kebutuhan energi tubuh. Organ ini juga menyintesis, memecah, dan menyimpan sementara asam lemak dan trigliserida.

Hepar membentuk dan mengeluarkan empedu, yang penting untuk pemecahan lemak. Sekresi empedu meningkat sebagai respons terhadap gastrin, sekretin, dan *kolesistokinin*. Empedu disekresikan ke dalam saluran kecil yang kosong ke dalam duktus empedu umum dan ke dalam duodenum di sfingter Oddi.

### 11.3.7 Usus Halus

Usus halus adalah bagian terpanjang dan paling kompleks dari sistem pencernaan yang memiliki panjang sekitar 5 – 6 m pada orang dewasa. Organ ini terdiri dari tiga bagian yang berbeda: duodenum, jejunum, dan ileum. Duodenum adalah 12 inci (30 cm) pertama dari usus halus dan terhubung dengan ujung distal pilorus. Saluran empedu (common bile duct) dan saluran pankreas bergabung membentuk ampula *Vater*, yang mengosongkan isinya ke duodenum melalui sfingter *Oddi*. Bagian usus halus sepanjang 2.5 m setelah sfingter *Oddi* disebut jejunum. Bagian terakhir usus halus, sekitar 2.5 – 4 m, disebut ileum. Katup *ileosekal* memisahkan masuknya ileum dengan *sekum* pada usus besar (McCance et al., 2018).

Permukaan dalam usus halus memiliki tampilan yang berbulu karena adanya banyak proyeksi jari-jari membran mukosa yang disebut *vili* usus. Selain *vili* usus, usus halus juga memiliki lipatan melingkar mukosa dan submukosa, yang meningkatkan luas permukaan untuk pencernaan dan penyerapan. Lapisan epitel pada mukosa usus halus terdiri mengandung berbagai jenis sel.

Sel penyerap (Absorptive cells) pada *epitelium* mencerna dan menyerap nutrisi dalam kimus di usus halus, sementara sel goblet mengeluarkan *mucus*. Kripta *Lieberkühn* mengeluarkan getah usus. Sel *Paneth* mengeluarkan *lisozim*, enzim

bakteri untuk fagositosis. Sel *enteroendokrin* terdiri dari sel S, sel CCK, dan sel K, yang masing-masing mengeluarkan hormon sekretin, *kolesistokinin*, dan *glucose-dependent insulinotropic peptide* (GIP).

Jaringan ikat areolar dan banyak jaringan limfoid yang terkait dengan mukosa (Mucosa-associated Lymphoid Tissue or MALT) ditemukan pada lamina *propria*, lapisan mukosa usus halus. *Nodul* limfatik soliter paling sering ditemukan di bagian distal ileum. Selain itu, ada kelompok *nodul* limfatik yang disebut folikel limfatik agregat, juga dikenal sebagai Peyer's patches. Peyer's patches mengandung sel-sel imun, seperti limfosit, yang berperan dalam memproduksi antibodi untuk melawan infeksi. Pada demam *tifoid*, *Salmonella Typhi* menyerang dan menginfeksi bagian ini.

Usus halus memiliki tiga fungsi utama: pergerakan makan (mixing dan peristaltic), pencernaan, dan penyerapan. Vili usus adalah organ utama yang berperan dalam fungsi absorpsi dengan meningkatkan luas permukaan usus halus. Usus halus mencampur dan mengangkut kimus untuk dicampur dengan banyak enzim pencernaan. Waktu yang dibutuhkan bagi konten dalam usus halus untuk berpindah melalui peristalsis rata-rata adalah antara 3 hingga 10 jam. Enzim-enzim dalam usus membantu dalam pencernaan protein, karbohidrat, dan lemak.

### 11.3.8 Usus Besar

Usus besar memanjang dari katup *ileosekal* hingga anus dan memiliki panjang sekitar 1.5 m dan diameter sekitar 6.5 cm. Organ ini terhubung ke dinding belakang perut melalui *mesocolon*, yang merupakan lapisan peritoneum berlapis dua. *Sekum*, usus besar, rektum, dan saluran anus adalah empat daerah struktural utama dari usus besar. Dimulai dengan *sekum*, bagian usus besar ini berbentuk kantong yang melebar dan terletak di bawah bukaan *ileosekal*. Di dasar *sekum* terdapat apendiks *vermiformis*, yang tidak memiliki fungsi pencernaan yang diketahui.

Usus besar kemudian berlanjut ke arah atas dari *sekum* sebagai kolon. Kolon terdiri dari empat bagian: kolon *asenden*, kolon *transversum*, kolon *desenden*, dan kolon *sigmoid* (McCance et al., 2018). Kolon *sigmoid* mengosongkan isinya ke rektum. Setelah kolon *sigmoid*, usus besar menurun membentuk rektum. Bagian terakhir usus besar sepanjang 1 hingga 1½ inci (3 hingga 4 cm) disebut saluran anal, yang terbuka ke luar tubuh melalui anus. Otot sfingter mengelilingi saluran anal.

Lapisan bagian dalam usus besar tersusun atas *epitelium kolumnar*, yang terdiri dari sel-sel penyerap dan sel-sel lendir. Baik sel-sel penyerap maupun sel goblet terletak dalam kelenjar usus yang panjang, lurus, dan berbentuk tabung (kripta Lieberkuhn) yang membentang sepanjang ketebalan mukosa. Sel-sel limfatik tunggal juga ditemukan dalam lamina *propria* mukosa dan dapat meluas melalui otot lapisan mukosa ke submukosa. Selain jaringan ikat *areolar*, submukosa usus besar terdiri dari lapisan otot polos longitudinal eksternal dan *sirkular* internal. Sebagian otot longitudinal menebal sepanjang usus besar, membentuk pita-pita yang disebut *teniae coli*. Kolon dikumpulkan menjadi serangkaian kantung yang disebut *haustra* karena kontraksi tonik pita-pita tersebut, yang memberi penampilan seperti kantung berkerut.

Usus besar memiliki tiga fungsi yaitu pergerakan, penyerapan, dan pengeluaran. Pergerakan dalam usus besar terdiri dari kontraksi *segmenal* yang memungkinkan penyerapan air dan elektrolit. Selain itu, kontraksi peristalsis terjadi untuk mendorong isi usus ke arah rektum sehingga dapat disimpan sebagai feses sebelum dikeluarkan. Penyerapan air dan beberapa elektrolit juga terjadi dalam usus besar untuk mengurangi volume kimus menjadi feses.

## 11.4 Pencernaan Mekanik dan Kimiawi di Lambung

Beberapa saat setelah makanan masuk ke dalam perut, terjadi gerakan peristaltik bergelombang yang terjadi setiap 15 hingga 25 detik untuk menghancurkan makanan, mencampurnya dengan cairan lambung, dan membentuk kimus. Selama proses pencernaan di dalam lambung, gelombang peristaltik yang lebih kuat terjadi di bagian *corpus* dan semakin kuat saat mencapai *pylorus*. Pada saat makanan mencapai *pylorus*, proses pengosongan perut dimulai, di mana gelombang campuran secara periodik mengeluarkan sekitar 3 ml kimus untuk masuk ke duodenum melalui sfingter.

Sebagian besar kimus kemudian kembali ke lambung, di mana proses pencampuran terus berlanjut. Gerakan maju dan mundur ini merupakan proses pencernaan mekanik makanan di dalam lambung. Makanan dapat tetap berada dalam *fundus* selama sekitar satu jam tanpa bercampur dengan cairan lambung. Selama waktu ini, pencernaan dilakukan oleh amilase saliva dan aktivasi lipase

linguistik, yang berfungsi untuk mengurai trigliserida menjadi asam lemak dan *digliserida*.

Sekresi HCL oleh sel *parietal* dapat distimulasi oleh beberapa faktor seperti *acetylcholine* (ACh) yang dilepaskan oleh neuron *parasympathetic*, gastrin yang dikeluarkan oleh sel-sel G, dan *histamin* yang merupakan zat *paracrine* yang dilewatkan oleh sel mast di dekat lamina *propria*. *Histamin* bertindak secara sinergis, meningkatkan efek dari *acetylcholine* dan gastrin untuk menghambat sel *parietal* mengeluarkan lebih banyak HCL. Reseptor *histamin* pada sel *parietal* disebut reseptor H2. Inhibitor pompa proton dan obat pemblokir H2 umumnya digunakan untuk pengobatan gastritis.

Pencernaan protein terjadi di lambung, dimana HCL mendenaturasi protein dalam makan dan menstimulasi hormon yang mendukung peningkatan aliran empedu dan cairan pankreas. Proses pencernaan *enzymatic* protein juga dimulai di lambung oleh enzim pepsin, yang disekresikan oleh *chief cells*. Pepsin bekerja memecah rantai protein dari banyak asam amino menjadi fragmen peptida yang lebih kecil. Pepsin paling efektif dalam lingkungan lambung yang sangat asam.

Hanya sebagian kecil nutrisi diserap oleh lambung, karena sel epitel lambung tidak permeabel terhadap kebanyakan zat gizi. Sel *mucus* pada lambung mengabsorpsi air, ion, asam lemak rantai pendek serta obat-obatan tertentu terutama aspirin dan alkohol. Dalam waktu 2 sampai 4 jam setelah makan, lambung telah melakukan pengosongan konten ke dalam duodenum.

## 11.5 Pencernaan Mekanik, Kimiawi, dan Absorpsi di Usus Halus

Usus halus melakukan dua jenis gerakan utama yaitu segmentasi dan kompleks motilitas yang bermigrasi. Segmentasi adalah kontraksi lokal yang mencampur kimus dengan getah pencernaan dan memfasilitasi penyerapan, bukan hanya mendorong isi usus di sepanjang saluran. Segmentasi terjadi lebih sering di duodenum, sekitar 12 kali per menit, dan secara bertahap berkurang frekuensinya saat mencapai ileum.

Setelah sebagian besar makanan diserap, segmentasi berhenti dan peristalsis dimulai. Jenis peristalsis yang terjadi di usus halus, disebut, kompleks motilitas yang bermigrasi (*migrating motility complex*). Gerakan peristalsis dimulai di

bagian bawah lambung, mendorong kimus ke depan di segmen pendek usus halus, dan secara bertahap bergerak ke bawah usus. Proses ini membutuhkan waktu sekitar 90 – 120 menit untuk mencapai ujung ileum sebelum gelombang lainnya dimulai.

Kimus di usus halus mengandung karbohidrat, protein, dan lipid yang telah dicerna sebagian. Pencernaan *makronutrien* ini diselesaikan dengan bantuan getah pankreas, empedu, dan getah usus. Tiga disakarida (sukrosa, laktosa, dan maltosa) tidak dipecah hingga mencapai usus halus. *Brush border enzyme* pada usus halus kemudian mencerna disakarida ini menjadi monosakarida. Sukrosa dipecah menjadi glukosa dan fruktosa, laktosa dipecah menjadi galaktosa, dan maltosa dipecah menjadi molekul glukosa. Pencernaan karbohidrat diakhiri dengan produksi monosakarida yang dapat diserap.

Pencernaan protein dimulai di dalam lambung, di mana protein dipecah menjadi peptida oleh aksi pepsin. Getah pankreas melanjutkan pemecahan protein menjadi peptida. Di usus halus, pencernaan protein diselesaikan oleh dua enzim di permukaan sel usus, yaitu *aminopeptidase* dan *dipeptidase*.

Trigliserida adalah lipid utama yang ditemukan dalam makanan. Lipase, khususnya lipase pankreas, adalah enzim yang bertanggung jawab untuk memecah trigliserida menjadi asam lemak dan *monogliserida* di usus halus. Sementara pencernaan lipid telah terjadi di lambung dengan bantuan lipase *lingual* dan getah lambung, sebagian besar proses pencernaan lipid terjadi di usus halus. Sebelum *globula* lipid besar yang mengandung trigliserida dapat dicerna, zat tersebut mengalami proses emulsifikasi yang difasilitasi oleh empedu yang disekresikan ke dalam usus halus.

Tujuan proses pencernaan, baik secara kimiawi maupun mekanis, dari mulut hingga usus halus adalah untuk mengubah makanan menjadi bentuk yang dapat diserap yang dapat masuk ke aliran darah dan pembuluh limfatik melalui sel epitel mukosa. Bentuk ini termasuk monosakarida dari karbohidrat, asam amino tunggal, dan peptida dari protein, serta asam lemak, gliserol, dan *monogliserida* dari trigliserida. Transfer nutrisi yang dicerna ke dalam darah atau getah bening ini dikenal sebagai penyerapan, yang terjadi melalui proses difusi, difusi yang difasilitasi, osmosis, dan transpor aktif. Hampir 90% penyerapan nutrisi, terjadi di usus halus, sedangkan 10% sisanya terjadi di lambung dan usus besar. Zat yang tidak tercerna atau tidak terserap di usus halus kemudian diteruskan ke usus besar.

## 11.6 Pencernaan Mekanik, Kimiawi, dan Absorpsi di Usus Besar

Setelah makan, peristalsis pada ileum menjadi lebih kuat, mendorong kimus ke dalam *sekum* melalui refleks *gastroileal*. Hormon gastrin juga merelaksasi sfingter, dan saat terjadi *distensi* pada *sekum*, kontraksi sfingter kembali meningkat. Pergerakan pada *colon* dimulai ketika kimus melewati sfingter *ileosekal*. Kecepatan melewati makanan ke dalam kolon bergantung pada waktu pengosongan lambung, karena kimus bergerak melalui usus halus dengan kecepatan konstan.

Gerakan pengadukan *haustra* terjadi di usus besar, di mana *haustra* yang berelaksasi, mengalami *distensi* karena terisi penuh dan kemudian berkontraksi untuk mendorong isinya ke *haustra* berikutnya. Peristalsis juga terjadi, tetapi pada kecepatan yang lebih lambat dibandingkan dengan bagian atas saluran pencernaan, yaitu 3 – 12 kontraksi per menit. Gelombang peristalsis yang kuat, dimulai di tengah kolon *transversum* dan dengan cepat mendorong isi kolon ke *rectum*. Adanya makan dalam lambung akan menginisiasi *reflex gastrocolic* dimana selanjutnya proses peristaltik akan berlangsung tiga hingga empat kali sehari, terutama selama atau setelah makan.

Di usus besar, bakteri memainkan peran penting dalam tahap akhir pencernaan yaitu melakukan fermentasi karbohidrat, melepaskan gas seperti hidrogen, karbon dioksida, dan metana, yang menyebabkan perut kembung. Bakteri juga mengubah protein menjadi zat yang lebih sederhana dan memecah bilirubin, memberikan warna coklat pada tinja. Usus besar menyerap vitamin tertentu dan air untuk menjaga keseimbangan air dalam tubuh.

Kimus di usus besar mengeras dan menjadi feses melalui penyerapan air, yang memakan waktu sekitar 3 – 10 jam. Feses terdiri dari air, garam, sel epitel, bakteri, bahan yang tidak dapat dicerna. Sementara sebagian besar penyerapan air terjadi di usus halus, usus besar memainkan peran penting dalam keseimbangan air dengan menyerap sekitar 100 – 200 ml dari ½ sampai 1 liter air yang masuk.

Gerakan peristalsis mendorong feses dari kolon *sigmoid* ke rektum. Distensi rektum memicu reseptor meregang dan memulai refleks defekasi. Impuls sensorik dikirim ke sumsum tulang belakang sakral, dan impuls motorik kembali ke usus besar, rektum, dan anus melalui saraf parasimpatis. Kontraksi

otot rektal dan kontraksi volunter diafragma dan otot perut terjadi bersamaan dengan rangsangan parasimpatis, sehingga sfingter ani interna membuka.

Sfingter anal eksternal berada di bawah kendali sadar. Mengendurkannya memungkinkan buang air besar, sementara adanya retraksi dapat menundanya. Peningkatan tekanan perut dari diafragma dan kontraksi otot perut membantu buang air besar dengan mendorong kolon *sigmoid* dan dinding rektal ke dalam. Jika tidak terjadi defekasi, feces menumpuk di kolon *sigmoid* hingga gelombang peristalsis massa berikutnya memicu keinginan untuk defekasi.

## 11.7 Tahapan Proses Pencernaan

Proses pencernaan terdiri dari tiga fase: fase *cephalic*, fase *gastric*, dan fase *intestine* (Tortora & Derrickson, 2017). Setiap fase memiliki respons fisiologis khusus dan mekanisme regulasi untuk pencernaan dan penyerapan nutrisi yang efisien.

### Fase Cephalic

Fase ini dimulai oleh adanya rangsangan sensorik seperti bau, pandangan, pikiran, atau rasa awal makanan. Kondisi ini mengaktifkan pusat saraf di korteks serebral, hipotalamus, dan batang otak. Sebagai respons, batang otak memberikan sinyal pada saraf wajah (VII) & saraf *glossopharyngeal* (IX) untuk mengaktifkan kelenjar ludah, sementara saraf *vagus* (X) untuk merangsang kelenjar lambung melepaskan getah lambung, mempersiapkan kondisi untuk makanan yang akan datang.

### Fase Gastric

Fase *gastric* terjadi setelah makanan mencapai lambung. Regulasi saraf dan hormonal mengatur sekresi dan motilitas lambung. Reseptor regangan dan *kemosensor* di dinding lambung merespons *distensi* dan perubahan pH untuk mengatur peristalsis dan pengosongan lambung. Ketika dinding lambung membesar atau pH meningkat karena masuknya protein yang menetralkan asam lambung, reseptor regangan dan *kemosensor* diaktifkan yang memulai suatu mekanisme umpan balik negatif. Impuls saraf yang dihasilkan oleh reseptor ini menyebar ke *plexus* submukosa, di mana kemudian merangsang neuron parasimpatis dan *enterik*.

Akibatnya, gelombang kontraksi otot yang disebut peristalsis dimulai, mencampur makanan dengan getah lambung. Saat gelombang peristalsis menjadi lebih kuat, sejumlah kimus yang sebagian telah dicerna, didorong ke duodenum melalui pengosongan lambung. Proses ini mengakibatkan penurunan pH kimus lambung dan pengurangan distensi dinding lambung, yang kemudian menekan sekresi getah lambung.

### **Fase Intestine**

Fase *intestine* dimulai setelah makanan masuk ke usus kecil. Berbeda dengan refleks yang diinisiasi selama fase *cephalic* dan *gastric* yang merangsang aktivitas sekresi dan motilitas lambung, refleks yang terjadi selama fase *intestine* memiliki efek penghambatan untuk memperlambat pengosongan *kimen* dari lambung. Hal ini mencegah usus dua belas jari dari kelebihan *kimen* yang tidak mampu diproses. Regulasi saraf dan *hormonal* menghambat pengosongan lambung dan memfasilitasi pencernaan makanan di usus. Distensi duodenum yang berisi *kimen* memicu refleks *enterogastric*.

Reseptor regangan di dinding duodenum mengirimkan impuls saraf ke medula *oblongata*, di mana mereka menghambat stimulasi parasimpatik dan merangsang saraf simpatik yang terhubung ke lambung. Akibatnya, motilitas lambung dihambat dan kontraksi sfingter pilorus meningkat, mengurangi pengosongan lambung. Hormon *kolesistokinin* (CCK) dan sekretin memainkan peran penting dalam mengatur sekresi getah pankreas, empedu, dan kontraksi sfingter-sfingter yang terlibat dalam proses pencernaan di usus halus.

# **Bab 12**

## **Struktur dan Fungsi Sistem Perkemihan**

### **12.1 Pendahuluan**

Sistem perkemihan merupakan suatu sistem penyaringan darah dari sisa-sisa metabolisme yang sudah tidak dimanfaatkan oleh tubuh dan menyerap kembali zat-zat yang masih digunakan oleh tubuh, sisa metabolisme yang sudah tidak terpakai akan larut dalam air dan dikeluarkan dari tubuh dalam bentuk urine. Fungsi sistem perkemihan salah satunya adalah mempertahankan homeostasis, menjaga keseimbangan cairan dan elektrolit tubuh.

Selain itu, sistem perkemihan juga berperan dalam menjaga keseimbangan pH darah dengan mengeluarkan kelebihan ion hidrogen (asam) atau ion bikarbonat (basa) melalui urine. Proses ini dikenal sebagai regulasi pH tubuh yang penting untuk fungsi enzim, aktivitas seluler, dan keseimbangan asam-basa dalam tubuh.

## 12.2 Struktur Sistem Perkemihan

### 12.2.1 Ginjal

Ginjal terletak di area *retroperitoneal* dari *kavum* abdominal berada di kedua sisi vertebra lumbal ke 3, dibungkus lapisan lemak yang tebal. Ginjal kanan lebih rendah dari ginjal kiri. Ginjal memiliki berbentuk seperti kacang merah pada kedua sisi kanan dan kiri, setiap ginjal panjang 6-7,5 centimeter dengan tebal 1,5-2,5 centimeter, berat kurang lebih 140 gram pada orang dewasa.

#### Struktur Makrokospis Ginjal

1. Korteks

Korteks merupakan susunan dari *tubulus* yang berfungsi melakukan penyaringan darah, Nefron adalah unit fungsional dari ginjal. Dalam nefron banyak terdapat kapiler yang tersusun secara melingkar disebut glomerulus. Setiap glomerulus dikelilingi oleh *kapsula Bowman* dan gabungan antara glomerulus dan *kapsula Bowman* disebut badan *malpighi*

2. Medulla

Medula disebut juga piramida ginjal, bagian dasar menghadap ke arah korteks dan bagian atas atau puncak yang mengarah ke ginjal dinamakan *papilla renalis*.

3. Pelvis renalis

Pelvis *renalis* merupakan bagian ujung proksimal ureter, ujung berlanjut menjadi dua sampai tiga *kaliks* mayor bagian yaitu rongga yang mencapai *glandular*, merupakan bagian penghasil urine di ginjal. *Canga* dari mayor ini adalah *kalik* minor, dimana urine masuk dulu ke *kalik* minor kemudian masuk *kalik* mayor ke ureter menuju kandung kemih.

#### Struktur Mikrokospis Ginjal

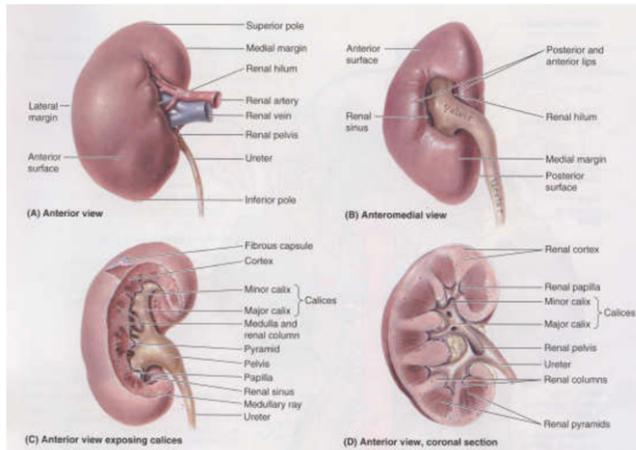
Struktur fungsional unit terkecil ginjal adalah nefron tiap ginjal diperkirakan terdapat 1000.000 nefron. Setiap nefron terdiri dari vaskuler dan *tubuler*, komponen vaskuler terdiri dari glomerulus, kapiler *peritubuler*. Pada komponen *tubuler* terdiri dari *kapsula Bowman*, *tubulus kontortus* proksimal, *tubulus*

*kontortus* distal, *tubulus kolektivus*, dan lengkung *henle* yang terletak di medula, pada *kapsula Bowman* terdapat lapisan *parietal* dan *visceral*

### Vaskularisasi Ginjal

Ginjal mendapatkan suplai darah dari aorta *abdominalis* dengan percabangan dari arteri *renalis*. Arteri *renalis* mempunyai cabang besar yaitu arteri *renalis* anterior dan arteri *renalis* posterior. Cabang anterior memberikan darah untuk ginjal anterior dan ventral dari ginjal sedangkan cabang posterior memberikan darah untuk ginjal posterior dan bagian dorsal.

Pembuluh darah yang terletak di antara piramida disebut arteri *interlobularis* yang berjalan tegak ke dalam korteks dan berakhir sebagai *vasa aferen glomerulus*, pleksus kapiler sepanjang *tubulus* melingkar dalam korteks tanpa berhubungan dengan glomerulus, pembuluh darah yang menembus *kapsula Bowman*.



**Gambar 12.1:** Kidney (Moore et al., 2014)

Dari glomerulus keluar pembuluh darah aferen, selanjutnya terdapat anyaman yang mengelilingi *tubuli kontorti*. Selain itu, terdapat cabang yang lurus menuju ke pelvis *renalis* dan memberikan darah untuk ansa *Henle* dan duktus *koligen* dinamakan arteri *rektae* (A *Supriae*). Setelah dari pembuluh rambut ini, darah kemudian berkumpul dalam kapiler vena yang bentuknya seperti bintang disebut *stelatae* dan berjalan ke vena *interlobularis*. Pembuluh darah ginjal dipersarafi oleh saraf simpatik dan parasimpatik, saraf otonom ini

mengendalikan diameter pembuluh darah ginjal dan aliran darah ginjal untuk melakukan *autoregulasi*.

### **Persarafan Ginjal**

Saraf ginjal terdiri atas ± 15 ganglion. Ganglion ini membentuk pleksus *renalis* yang berasal dari cabang terbawah dan di luar ganglion pleksus *seliaka*, pleksus *akustikus*, dan bagian bawah *splenikus*. Pleksus *renalis* bergabung dengan pleksus spermatikus dengan cara memberikan beberapa serabut yang dapat menimbulkan nyeri pada testis, pada kelainan ginjal.

### **12.2.2 Ureter**

Ureter merupakan saluran seperti pipa dari ginjal kiri dan kanan, dan menuju *vesica urinaria* yang terletak di rongga abdomen dan rongga pelvis. Panjang ureter 20-30 cm, penampang 0,5cm. Pada lapisan dinding ureter terdapat gerakan peristaltik setiap 5 menit sekali untuk mengalirkan urine masuk ke dalam kandung kemih.

Bagian ujung atas pelvis ginjal (pelvis ureter) melebar membentuk corong dan terletak dalam *hilus* ginjal menerima *kaliks* mayor. Lapisan ureter terdiri dari bagian dinding luar jaringan ikat (jaringan fibrosa), lapisan tengah (otot polos), lapisan sub mukosa bagian dalam

#### **Lokasi Ureter**

*Pars abdominalis* ureter, dalam *kavum* abdomen, ureter terletak di belakang peritoneum, media *anterior musculus psoas* mayor dan ditutupi oleh fascia subserosa. Ureter kanan terletak pada *pars desenden* duodenum, Ureter kiri disilang oleh *vasa koplika sinistra* dekat *apertura* pelvis superior dan berjalan di belakang kolon *sigmoid* dan *mesenterium*.

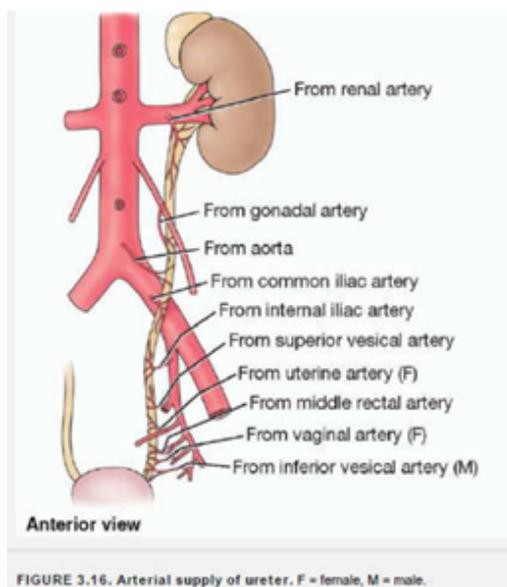
*Pars pelvis* ureter: *pars pelvis* ureter berjalan pada bagian dinding lateral dari *kavum* pelvis sepanjang tepi anterior dari *insisura iskiadika* mayor dan tertutup oleh peritoneum. Ureter pada pria: uretra pada pria terdapat dalam *fisura seminalis*, bagian atasnya disilang oleh duktus deferens dan dikelilingi oleh pleksus *vesikalis*. Selanjutnya ureter berjalan *oblique* sepanjang 2 cm di dalam dinding kandung kemih pada sudut lateral dari *trigonum vesika*.

Ureter pada wanita: ureter pada wanita terdapat di belakang *fossa ovarika* berjalan ke bagian medial dan ke depan bagian *lateralis* serviks uterus, bagian atas vagina untuk mencapai *fundus vesica urinaria*. Dalam perjalanannya ureter

didampingi oleh arteri *uterina* sepanjang 2,5 cm. Selanjutnya arteri ini menyilang ureter dan menuju ke atas di antara lapisan *ligamentum latum*. Ureter mempunyai jarak 2 cm dari sisi serviks uterus.

### Vaskularisasi Ureter

Ureter mendapatkan suplai darah dari arteri renalis, arteri spermatika interna, arteri hypogastrika dan arteri vesikalis inferior



**Gambar 12.2:** Vaskularisasi Ureter (Moore et al., 2014)

### Persarafan Ureter

Persarafan ureter merupakan cabang dari pleksus *mesenterikus* inferior, pleksus spermatika, dan pleksus pelvis. Sepertiga bawah dari ureter terisi oleh sel-sel saraf yang bersatu dengan rantai *eferen* dan *nervus vagus*. Rantai *aferens* dan *nervus torakalis* XI dan XII, *nervus lumbalis* I dan *nervus vagus* mempunyai rantai aferen untuk uretra.

### 12.2.3 Kandung Kemih

*Vesika urinaria* berbentuk kerucut yang dikelilingi oleh otot yang berhubungan dengan *ligamentum* sehingga *vesika urinaria* memiliki kemampuan

mengembang dan mengempis. *Vesika urinaria* terletak di belakang *simphisis pubis* di rongga panggul.

*Vesika urinaria* merupakan tempat penyimpanan urine berdinding otot yang kuat, bentuknya bervariasi sesuai dengan jumlah urine yang dikandung. Kandung kemih pada waktu kosong terletak dalam rongga pelvis, sedangkan dalam keadaan penuh dinding atas terangkat masuk ke dalam region *hipogastrika*. Apeks kandung kemih terletak di belakang pinggir atas *simphisis pubis* dan permukaan posteriornya berbentuk segitiga. Bagian sudut *superolateral* merupakan muara ureter dan sudut inferior membentuk uretra.

### Lapisan Otot

Lapisan otot kandung kemih terdiri atas otot polos yang tersusun dan saling berkaitan disebut muskulus detrusor *vesicae*. Peredaran darah *vesika urinaria* berasal dari arteri *vesikalis* superior dan inferior yang merupakan cabang dari arteri *iliaka interna*. Venanya membentuk *pelvikus venosus vesikalis* berhubungan dengan pleksus *prostatikus* yang mengalirkan darah ke vena *iliaka interna*.

### Persarafan

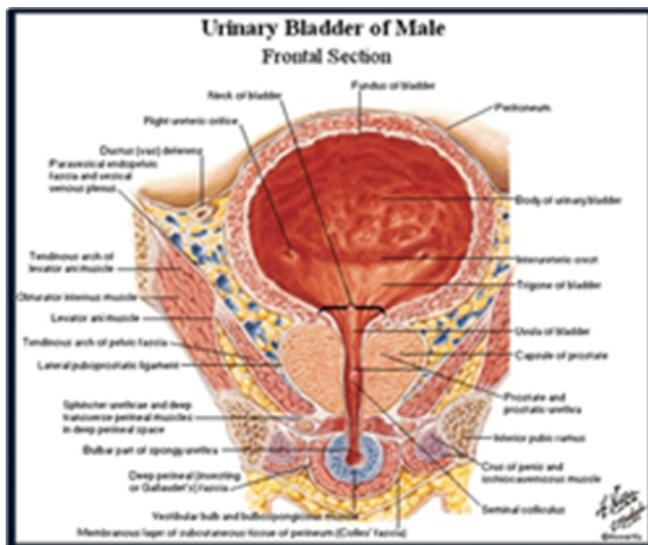
Persarafan *vesika urinaria* berasal dari pleksus hipogastrika inferior. Serabut ganglion simpatikus berasal dari ganglion lumbalis I dan II, yang turun ke kandung kemih melalui pleksus *hipogastrikus*. Serabut *preganglion* parasimpatis yang keluar dari *nervus splendus* berasal dari *nevis sakralis* II, III, dan IV berjalan melalui *hipogastrikus* inferior mencapai dinding *vesika urinaria*. Sebagian besar serabut aferen sensoris yang keluar dari kandung kemih menuju sistem susunan saraf pusat melalui *nervus splanknikus pelvikus* berjalan bersama saraf simpatis melalui pleksus *hipogastrikus* masuk ke dalam segmen lumbal 1 dan 2 medula *spinalis*.

### Pengisian dan Pengosongan Kandung Kemih

Dinding ureter mengandung otot polos yang tersusun dalam berkas spiral longitudinal dan sekitar lapisan otot yang tidak terlihat. Kontraksi peristaltik ureter 1-5 kali/menit akan menggerakkan urine dari pelvis renalis ke dalam kandung kemih. Apabila kandung kemih terisi penuh permukaan superior membesar, menonjol ke atas masuk ke dalam rongga abdomen.

Membran mukosa kandung kemih dalam keadaan kosong akan berlipat-lipat. Lipatan ini akan hilang apabila kandung kemih terisi penuh. Daerah membran mukosa meliputi permukaan dalam basis kandung kemih yang dinamakan

*trigonum*. *Vesika* ureter menembus dinding kandung kemih secara miring membuat seperti katup untuk mencegah aliran balik urine ke ginjal pada waktu kandung kemih terisi.



**Gambar 12.3:** Vesika Urinaria (Evelyn C. Pears, 2011)

Pengosongan kandung kemih kontraksi otot *muskulus* detrusor bertanggung jawab pada pengosongan kandung kemih selama berkemih (miksturasi). Berkas otot tersebut berjalan pada sisi uretra, serabut ini dinamakan sfingter uretra interna. Sepanjang uretra terdapat sfingter otot rangka yaitu sfingter uretra *membranosa* (sfingter uretra eksterna). Epitel kandung kemih dibentuk dari lapisan *superfisialis* sel kuboid.

## 12.2.4 Uretra

Uretra merupakan bagian akhir dari sistem perkemihan yang berbentuk saluran sempit sebagai alat pembuangan urine.

### Uretra Pria

Uretra pria mulai dari *orifisium* uretra interna di dalam kandung kemih sampai *orifisium* uretra eksterna pada penis, panjangnya 17,5-20 cm yang terdiri atas bagian-bagian berikut:

### 1. Uretra prostatika

Saluran terlebar, panjangnya 3 cm berjalan hampir vertikal melalui glandula prostat, mulai dari basis sampai ke apeks dan lebih dekat ke permukaan anterior. Bentuk salurannya seperti kumparan, bagian tengahnya lebih luas, makin ke tengah semakin dangkal kemudian bergabung dengan *pars* membran. Potongan transversal saluran ini menghadap ke depan.

Pada dinding posterior terdapat krista *uretralis* yang berbentuk kulit, dibentuk oleh penonjolan membran mukosa, jaringan di bawahnya 15-17 cm, tinggi 3 cm. Pada kiri dan kanan krista uretralis terdapat sinus *prostatikus* yang ditembus oleh *orificium* duktus *prostatikus* dari lobus *lateralis* glandula prostat dan duktus dari lobus medial glandula prostat lalu bermuara di belakang krista uretralis.

Bagian depan krista uretralis terdapat tonjolan yang disebut *kolikus seminalis* pada *orificium utrikulus, prostatikus* berbentuk kantong sepanjang 6 cm yang berjalan ke atas dan ke belakang di dalam substansi prostat di belakang *lobus* medial. Dindingnya terdiri atas jaringan ikat lapisan *muskularis* dan membran mukosa, beberapa glandula kecil terbuka ke permukaan dalam

### 2. Uretra pars membranosa

Uretra ini merupakan saluran yang paling pendek dan *palin* dangkal, berjalan mengarah ke bawah dan ke depan di antara *apeks* glandula *prost* dan *bulbus* uretra. di bawah belakang samping *simpisis pubis* diliputi oleh jaringan *sfincter uretra membranosa*.

### 3. Uretra pars kavernosa

Uretra ini mempunyai saluran terpanjang dari uretra, terdapat di dalam korpus *kavernosus* uretra, panjangnya  $\pm 15$  cm mulai dari *pars membranosa* sampai ke *orificium superfisialis* dari diafragma *urogenitalis*. *Fars kavernosus* uretra berjalan ke depan dan ke atas menuju bagian depan simpisis pubis. Pada saat penis berkontraksi, *pars kevernosus* akan membelok ke bawah dan ke depan.

#### 4. Orifisium uretra eksterna

Pada bagian ini merupakan bagian erektor yang paling berkontraksi, berupa sebuah celah vertikal. Kedua sisi ditutup oleh dua bibir kecil panjangnya 6 mm.

### Uretra Wanita

Terletak di belakang simpisis, salurannya dangkal panjang  $\pm 4$  cm, mulai dari *orifisium* uretra interna sampai ke *orifisium* uretra eksterna. Pada dinding anterior vagina menjurus oblique ke bawah dan menghadap ke depan. Apabila tidak berdilatasi diameternya 6 cm. Uretra ini menembus fascia diafragma *urogenitalis* dan *orifisium* eksterna langsung di depan permukaan vagina.

Jaraknya  $\pm 2,5$  cm di belakang glans klitoris, glandula uretra bermuara ke uretra yang terbesar diantaranya adalah glandula para uretralis (skene) yang bermuara ke dalam *orifisium* uretra yang hanya berfungsi sebagai saluran ekskresi. Uretra wanita jauh lebih pendek daripada uretra pria dan terdiri atas lapisan otot polos yang diperkuat oleh sfingter otot rangka.

Pada muaranya ditandai dengan banyak sinus *venosus* mirip jaringan *kavernosa*. Lapisan uretra wanita terdiri atas: *tunika muskularis*, lapisan *spongeosa* berjalan pleksus dari vena-vena, lapisan mukosa sebelah dalam.

## 12.3 Fisiologi Sistem Perkemihan

### 12.3.1 Fungsi Ginjal

Menurut Syaifudin, (2009) Ginjal memiliki beberapa peranan yang penting sebagai berikut:

#### 1. Mengatur volume air (cairan) dalam tubuh

Keseimbangan antara asupan dan keluaran cairan dikendalikan oleh ginjal. Kelebihan air dalam tubuh akan diekskresikan oleh ginjal sebagai urine yang encer dalam jumlah besar. Kekurangan air (kelebihan keringat) menyebabkan urine yang diekskresi jumlahnya berkurang dan konsentrasinya lebih pekat sehingga susunan dan volume cairan tubuh dapat dipertahankan relatif normal. Volume urine

terutama diatur oleh hormon anti diuretik yang dilepaskan di dalam darah oleh kelenjar *hipofise lobus posterior* (Ross and Wilson, 2019).

2. Mengatur keseimbangan osmotik dan keseimbangan ion

Sel saraf sensoris di *hypothalamus* (*osmoreseptor*) mendeteksi terhadap perubahan dalam tekanan osmotik darah. Impuls saraf dari *osmoreseptor* akan memberikan rangsangan terhadap *hypofise posterior* untuk menyekresi ADH.

Pada saat tekanan osmotik meningkat, pengeluaran ADH meningkat hal ini mengakibatkan reabsorpsi air dan dapat menurunkan tekanan osmotik mekanisme umpan balik negatif ini dalam upaya mempertahankan tekanan osmotik darah termasuk konsentrasi natrium (Ross and Wilson, 2019).

Pengaturan keseimbangan ini terjadi dalam plasma bila terdapat pemasukan dan pengeluaran yang abnormal dari ion-ion. Sebagai contoh akibat pemasukan garam yang berlebihan atau penyakit perdarahan, diare, dan muntah-muntah, ginjal akan meningkatkan ekskresi ion-ion yang penting misal: Na, K, Cl, Ca, dan fosfat. Perubahan dalam konsentrasi cairan dan elektrolit di dalam cairan tubuh maka ginjal akan melakukan berbagai mekanisme untuk mempertahankan keseimbangan tekanan osmotik dan keseimbangan elektrolit.

3. Mengatur keseimbangan asam basa cairan tubuh

Ginjal mempertahankan keseimbangan asam basa sel tubulus *kontortus* proksimal akan mengeluarkan secara selektif bikarbonat dan ion hidrogen. Ketika kelebihan hidrogen terjadi dan pH menjadi turun (asidosis), maka *ginjal* mereabsorpsi bikarbonat dan mengeluarkan ion hidrogen. Pada keadaan alkalosis atau pH tinggi, maka ginjal akan mengeluarkan bikarbonat dan menahan ion hidrogen. Normalnya kadar serum bikarbonat 22-26 mEq/liter.

4. Ekskresi sisa-sisa hasil metabolisme (ureum, asam urat, dan kreatinin).

Bahan-bahan yang diekskresi oleh ginjal antara lain zat toksik, obat-obatan, hasil metabolisme hemoglobin, dan bahan kimia asing (pestisida).

#### 5. Fungsi hormonal dan metabolisme

Ginjal menyekresi hormon renin yang mempunyai peranan penting dalam mengatur tekanan darah (sistem renin-angiotensin-aldesteron) yaitu untuk memproses pembentukan sel darah merah (eritropoiesis). Disamping itu, ginjal juga membentuk hormon dihidroksi *kolekalsiferol* (vitamin D aktif) yang diperlukan untuk absorpsi ion kalsium di usus. *Peptida Natriuretik Atrial* (ANP) merupakan hormon peptide yang disekresikan oleh *miosit* atrium jantung yang berfungsi meningkatkan ekskresi garam dan air dan menurunkan tekanan darah. ANP dilepaskan sebagai respons terhadap peregangan natrium (Ian Peate, 2019).

#### 6. Pengaturan tekanan darah

Sistem renin *Angiotensin aldosterone*, sel di dalam arterial aferen nefron distimulasi memproduksi enzim renin oleh saraf simpatik apabila volume darah turun, tekanan darah rendah, Renin akan mengubah protein plasma menjadi *angiotensin I* dan oleh ACE merubah menjadi *angiotensin II* dalam Upaya meningkatkan tekanan darah. Renin akan menstimulasi kelenjar adrenal memproduksi aldosteron yang berfungsi reabsorpsi air dan natrium.

#### 7. Pengeluaran zat beracun

Ginjal mengeluarkan polutan, zat tambahan makanan, obat-obatan, atau zat kimia asing lain dari tubuh.

### 12.3.2 Filtrasi Glomerulus

Kapiler *glomerulus* secara relatif bersifat *impermeabel* (tidak bisa dilewati) terhadap protein plasma yang lebih besar, tetapi permeabel terhadap air dan larutan yang lebih kecil seperti elektrolit, asam amino, glukosa, dan sisa nitrogen.

*Glomerulus* dapat mengalami kenaikan tekanan darah hingga 90 mmHg. Kenaikan ini terjadi karena arteriole aferen yang mengarah ke *glomerulus* mempunyai diameter yang lebih besar dan memberikan sedikit tahanan dari kapiler yang lain. Darah didorong ke dalam ruangan yang lebih kecil masuk ke dalam ruangan yang lebih kecil sehingga darah mendorong air dan partikel kecil yang terlarut dalam plasma masuk ke dalam *kapsula Bowman*.

Tekanan darah terhadap dinding pembuluh ini disebut tekanan hidrostatik (TH). Gerakan masuknya ke dalam *kapsula Bowman* disebut sebagai filtrasi glomerulus. Tiga faktor dalam proses filtrasi dalam kapsula

Bowman menggambarkan integrasi ketiga faktor tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Tekanan Osmotik (TO)

Tekanan yang dikeluarkan oleh air (sebagai pelarut) pada membran semipermeabel. Sebagai usaha untuk menembus membran semipermeabel ke dalam area yang mengandung lebih banyak molekul yang dapat melewati membran semipermeabel. Pori-pori dalam kapiler glomerulus memungkinkan untuk melewati yang lebih kecil dan air, tetapi molekul yang lebih besar tidak dapat melewati seperti protein dan plasma.

2. Tekanan hidrostatik (TH) sekitar 15 mmHg dari filtrasi dalam kapsula dan berlawanan dengan tekanan hidrostatik darah. Filtrasi tekanan osmotik 1-3 mmHg yang berlawanan dengan osmotik darah
3. Perbedaan tekanan osmotik plasma dengan cairan dalam kapsula Bowman memperlihatkan perbedaan konsentrasi protein, menyebabkan pori-pori kapiler memfiltrasi protein plasma.

### 12.3.3 Laju Filtrasi Glomerulus (Glomerulus Filtration Rate/GFR)

Laju filtrasi glomerulus (GFR) adalah filtrasi yang terjadi setiap menit pada semua nefron dari kedua ginjal. Tekanan hidrostatik plasma dan tekanan osmotik filtrat *kapsula Bowman* bekerja sama untuk meningkatkan gerakan air dan molekul permeabel. Molekul permeabel kecil dari plasma masuk ke dalam *kapsula Bowman*. Tekanan hidrostatik dan tekanan osmotik filtrat dalam *kapsula Bowman* bersama-sama mempercepat gerakan air dan molekul permeabel dari *kapsula Bowman* masuk ke kapiler.

Perpindahan filtrat dari aliran darah ke dalam kapsula Bowmand akan mempermudah dengan tekanan 70 mmHg, laju ini dinamakan laju filtrasi *glomerulus* (LFG). Secara normal pada orang sehat adalah 125 ml. Faktor klinis yang memengaruhi LFG adalah tekanan hidrostatik dan tekanan osmotik.

Faktor-faktor yang memengaruhi GFR adalah sebagai berikut:

1. Tekanan filtrasi efektif  
Perubahan tekanan yang terjadi akan memengaruhi GFR, derajat konsentrasi *atriol* aferen dan *eferen* untuk menentukan aliran darah ginjal.
2. Autoregulasi ginjal  
Mekanisme autoregulasi intrinsik ginjal mencegah perubahan aliran darah ginjal dan GFR akibat variasi fisiologis tekanan darah arteri. Autoregulasi terjadi pada rentang tekanan darah yang melebar (80 mmHg-180 mmHg).
3. Stimulasi simpatis  
Peningkatan impuls simpatis terjadi dalam keadaan stres, menyebabkan *kontriksi arteriole* aferen dan menurunkan aliran darah ke dalam glomerulus sehingga menyebabkan penurunan GFR.
4. Obstruksi aliran urinaria  
Batu ginjal atau batu ureter akan meningkatkan tekanan hidrostatik dalam kapsul Bowman dan menurunkan GFR.
5. Kelaparan  
Diet sangat rendah protein atau penyakit hati akan menurunkan tekanan osmotik koloid sehingga meningkatkan GFR.
6. Berbagai penyakit ginjal  
Dapat meningkatkan permeabilitas kapiler glomerulus sehingga dapat meningkatkan GFR.

### 12.3.4 Proses Pembentukan Urine

Darah sekitar 1200 ml difiltrasi di glomerulus setiap menit terbentuk 120-125ml filtrat, setiap harinya dapat terbentuk sekitar 150-180 l filtrat, tapi kurang lebih sekitar 1% (1,5 L) dikeluarkan dalam bentuk urine (Rusbandi, 2013).

1. Filtrasi  
Ultrafiltrasi pada simpai Bowman untuk menampung hasil filtrasi dari *glomerulus*. Pada tubulus ginjal akan terjadi penyerapan kembali zat-zat yang sudah disaring pada *glomerulus* dan sisa cairan akan diteruskan ke piala ginjal. Urine yang berasal dari darah dibawa oleh

arteri renalis masuk ke dalam ginjal, ultrafiltrasi darah/ plasma dalam kapiler *glomerulus* berupa air dan kristaloid, selanjutnya di dalam tubuli ginjal disempurnakan dengan proses reabsorpsi zat-zat yang esensial dari cairan filtrasi untuk dikembalikan ke dalam darah, selanjutnya proses sekresi dikeluarkan melalui urine.

Proses ini terjadi pada *glomerulus* karena permukaan aferen lebih besar dari permukaan eferen sehingga terjadi penyerapan darah setiap menit  $\pm 1200$  ml darah yang terdiri atas 450 ml sel darah dan 660 ml plasma, masuk ke dalam kapiler glomerulus. Tekanan hidrostatik kapiler *glomerulus*  $\pm 50$  mmHg, tekanan ini cenderung mendorong air dan garam-garam melalui *glomerulus*.

Kapiler glomerulus secara relatif bersifat permeabel terhadap protein plasma yang lebih besar dan cukup permeabel terhadap air dan larutan yang lebih kecil, seperti glukosa, asam amino, natrium, kalium, klorida, bicnat, garam dan urea melewati saringan dan menjadi endapan. Hasil penyaringan di glomerulus berupa filtrat glomerulus (urine primer/yang komposisinya serupa dengan darah tetapi tidak mengandung protein (Guyton, 1996).

## 2. Absorpsi

*Tubulus* proksimal bertanggung jawab terhadap reabsorpsi bagian terbesar dari cairan filtrasi. kemampuan dan kecepatan reabsorpsi dan sekresi dari *tubulus* renal tidak sama Umumnya *tubulus* proksimal bertanggung jawab untuk melakukan ultrafiltrasi lebih luas dari *tubulus* yang lain, sekitar 60% kandungan yang tersaring direabsorpsi sebelum cairan ditubulus proksimal. Air diabsorpsi dengan jumlah yang banyak.

## 3. Reabsorpsi

Terjadi penyerapan kembali sebagian besar dari glukosa, sodium, klorida, fosfat, dan ion bikarbonat. Proses ini terjadi secara pasif yang dikenal dengan obligator reabsorpsi pada tubulus atas. Dalam tubulus ginjal, cairan filtrasi dipekatkan dan zat yang penting bagi tubuh direabsorpsi Kegiatan ini banyak dipengaruhi oleh hormon-hormon

dan zat-zat yang direabsorpsi berubah sesuai dengan keperluan tubuh setiap saat.

Zat esensial yang mutlak diperlukan misalnya glukosa, NaCl, dan garam-garam direabsorpsi dengan sempurna ke dalam kapiler *peritubular*, kecuali kadarnya melebihi ambang ginjal yaitu batas kadar tertinggi suatu zat dalam darah yang apabila dilampaui akan menyebabkan ekskresi zat tersebut masuk ke dalam urine. Zat yang sebagian diabsorpsi sel-sel tubulus bila diperlukan misalnya kalium. Zat-zat yang hanya diabsorpsi dalam jumlah kecil dari hasil metabolisme misalnya ureum, fosfat, dan asam urat. Zat yang sama sekali tidak diabsorpsi bahkan tidak dapat disekresi oleh sel tubulus misalnya kreatinin.

Jumlah total air yang diabsorpsi  $\pm 120$  ml/menit. Sekitar 70-80% diabsorpsi oleh tubulus proksimal disebut juga reabsorpsi air obligatori, sisanya 20-30% diabsorpsi secara fakultatif dengan bantuan hormon *vasoprovosi* yaitu ADH (anti diuretik hormone) di tubulus distal, sebagian kecil sisanya diabsorpsi pada duktus *koligentis* yaitu saluran tempat bermuaranya tubulus distal.

#### 4. Proses sekresi

Tubulus ginjal dapat menyekresi atau menambah zat-zat ke dalam cairan filtrasi selama metabolisme sel-sel membentuk asam dalam jumlah besar. Namun, pH darah dan cairan tubuh dapat dipertahankan sekitar 7.4 (alkalis). Sel tubuh membentuk amoniak yang bersenyawa dengan asam kemudian disekresi sebagai amonium supaya pH darah dan cairan tubuh tetap alkalis.

Faktor yang memengaruhi pembentukan urine adalah:

##### 1. Hormon

- a. Hormon ADH: memiliki peran dalam meningkatkan reabsorpsi air sehingga mengendalikan keseimbangan air tubuh air dalam tubuh, sekresi ADH dengan meningkatkan *osmolaritas* dan menurunkan cairan ekstra sel.

- b. Aldosteron  
Hormon ini berfungsi pada absorpsi natrium di tubulus ginjal.
  - c. Prostaglandin  
Prostaglandin merupakan asam lemak yang berfungsi merespons radang, pengendalian tekanan darah, kontraksi uterus, dan pengaturan gastrointestinal. Asam lemak ini berperan dalam pengaturan sirkulasi.
  - d. Glukokortikoid  
Glukokortikoid berfungsi mengatur reabsorpsi natrium dan air yang menyebabkan volume darah meningkat.
2. Zat diuretik  
Diuretik akan menghambat proses reabsorpsi air sehingga volume urine meningkat. Zat diuretik terdapat pada teh, alkohol, kopi.
3. Suhu internal dan eksternal  
Peningkatan suhu lingkungan di atas normal meningkatkan evaporasi, banyak keringat kecepatan respirasi sehingga mengurangi volume urine.

# **Bab 13**

## **Struktur dan Fungsi Sistem Persarafan**

### **13.1 Pendahuluan**

Sistem persarafan merupakan sistem pengendali, yang terdiri dari jaringan saraf dan membentuk rangkaian organ yang kompleks. Sistem persarafan juga merupakan sistem informasi yang terintegrasi, berfungsi menerima data, mengolahnya, menentukan respons dan memberi perintah ke setiap organ tubuh untuk melakukan berbagai fungsinya agar tercapai kondisi homeostasis. Jaringan saraf tersebar di seluruh jaringan tubuh, tanpa jaringan saraf manusia tidak mampu berkomunikasi, berinteraksi, beradaptasi terhadap perubahan lingkungan baik internal dan eksternal (Nurhastuti and Iswari, 2018).

Sistem persarafan berperan seperti jaringan komunikasi, dimana informasi ditransmisikan dari dan ke otak. Otak menerima informasi dari saraf sensorik dan dikirimkan ke saraf motorik. Informasi dari lingkungan sekeliling diterima oleh saraf sensorik lalu dikirimkan ke otak.

Pada waktu yang sama informasi tentang tubuh kita (seperti haus) diterima oleh saraf sensoris dan dikirimkan ke otak. Transmisi informasi ini terjadi melalui sel-sel saraf yang di namakan neuron. Sistem persarafan sebagai jalur utama informasi biologis, bertanggung jawab mengendalikan seluruh proses biologi,

gerakan tubuh serta dapat menerima informasi lalu menginterpretasinya melalui sinyal elektrik di dalam sistem persarafan.(Evelyn, 2016)

Daya kepekaan dan daya hantaran merupakan sifat utama makhluk hidup dalam bereaksi terhadap perubahan lingkungan. Perubahan ini merupakan rangsangan bagi tubuh yang dinamakan stimulus dan reaksi yang dihasilkan dinamakan respons (Dafriani, 2019).

## 13.2 Sel Saraf

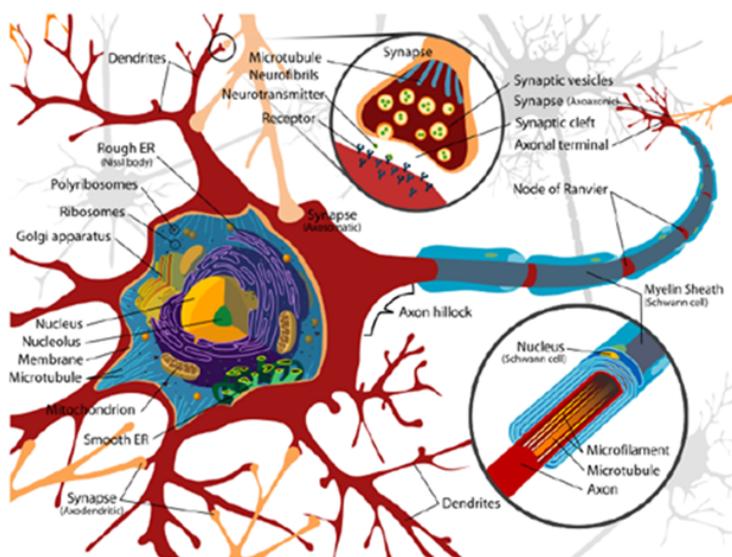
Sel saraf terdiri neuron dan sel neuroglia sebagai sel pendukung. Neuron merupakan satuan dasar atau unit fungsional sistem persarafan dengan ciri struktur tertentu yang membedakan dengan sel tubuh lainnya. Pada bagian tengah neuron ada serabut tipis menjulur yaitu akson. Melalui serabut inilah neuron melaksanakan fungsinya menyampaikan impuls ke otak dan dari otak, serta sumsum tulang belakang. Impuls ini disampaikan dari neuron ke neuron lainnya di sebelahnya melalui *sinapsis*. Pasokan energi untuk neuron berasal dari penguraian oksidatif glukosa dan benda-benda keton (Kirnanoro and Maryana, 2017).

Macam neuron yaitu neuron sensorik (aferen), neuron motorik (eferen) dan *interneuron*. Neuron sensorik membawa sinyal (input) dari organ sensorik ke sumsum tulang belakang dan otak. Adapun neuron sensorik penglihatan, pendengaran, rasa, bau akan dibawa melalui saraf kranial. Neuron motorik membawa sinyal dari otak dan sumsum tulang belakang (output) ke otot dan kelenjar. *Interneurons* membawa informasi antara sel-sel saraf, hanya ditemukan di otak dan sumsum belakang (Dafriani, 2019)

Neuroglia merupakan sel pendukung pada otak dan sumsum tulang belakang, mengisi ruangan di antara sel-sel saraf, tidak mengonduksi impuls listrik. Pada sel-sel saraf, neuroglia ini membentuk *mielin* bagi akson sehingga memengaruhi kecepatan pengantaran impuls dari saraf. Neuroglia berfungsi menyokong, melindungi, dan sumber nutrisi sel saraf pada otak dan *medulla spinalis*, sedangkan sel Schwann merupakan pelindung dan penyokong neuron-neuron di luar sistem saraf pusat. Neuroglia jumlahnya lebih banyak dari sel-sel neuron dengan perbandingan sekitar sepuluh banding satu (Kirnanoro and Maryana, 2017).

Neuron-neuron berkomunikasi melalui sinyal yang disebut potensial aksi. Potensial aksi merupakan muatan listrik yang dihasilkan oleh perubahan keseimbangan kimia dari cairan di dalam dan sekeliling neuron yang bergantung pada pergerakan ion-ion bagian luar dan bagian dalam sel. Jika potensial aksi terjadi pada neuron menyebabkan pesan molekular dikirimkan ke neuron di sebelahnya.

Hal ini terjadi jika impuls yang masuk adalah depolarisasi yang mencapai ambang tertentu sehingga pada pangkal akson timbul potensial aksi yang menyebabkan sel terstimulasi. Potensial aksi diteruskan ke ujung neuron untuk membebaskan neurotransmitter (Dafriani, 2019).



**Gambar 13.1:** Neuron (Wikipedia, 2023)

## 13.3 Fungsi dan Susunan Sistem Persarafan

Ada 3 fungsi utama sistem persarafan yaitu:

1. Fungsi kewaspadaan untuk mendeteksi perubahan yang terjadi di sekitar dan disampaikan ke alat indera sebagai saraf sensorik yang berfungsi khusus sebagai penginput data.
2. Fungsi integrasi yaitu menerima pesan (input data) sensorik dari lingkungan eksternal, menginterpretasi data oleh *Central Nervous System* (CNS), mengatur informasi dan mengintegrasikan dengan informasi yang telah ada untuk menentukan jenis respons yang akan diberikan.
3. Fungsi koordinasi yaitu berdasarkan data yang sudah terintegrasi maka saraf akan mengirimkan pesan perintah pada otot-otot dan kelenjar-kelenjar untuk menghasilkan gerak dan sekresi terorganisasi (Betts et al., 2017).

Sistem persarafan terdiri dari sistem saraf pusat (central nervous system atau CNS) dan sistem saraf perifer (peripheral nervous system atau PNS). CNS merupakan tempat proses berlangsung dan PNS bekerja mendeteksi dan mengirimkan impuls elektrokimia yang digunakan pada sistem saraf. PNS terdiri dari saraf-saraf yang membawa impuls antara CNS dengan otot, kelenjar, kulit dan organ-organ lain (Kirnanoro and Maryana, 2017).

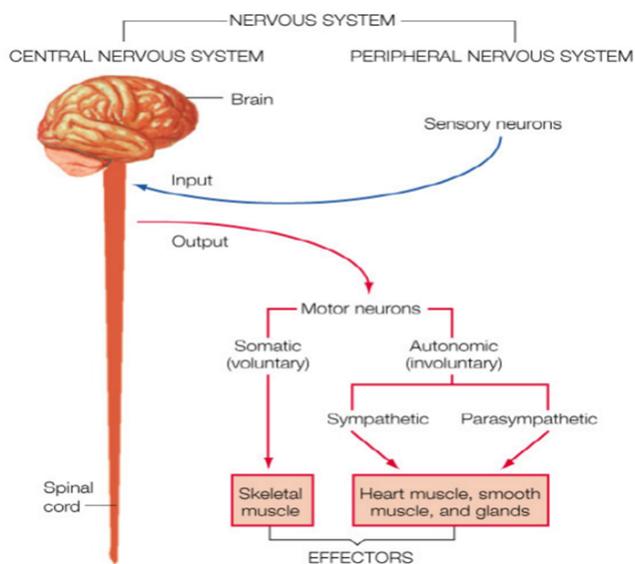
CNS merupakan pusat sistem saraf, yang bertugas memproses informasi yang diterima oleh PNS. CNS terdiri atas otak dan *medulla spinalis* yang dilindungi tulang kranium dan kanal vertebral. CNS bertanggung jawab menerima dan menginterpretasi sinyal dari PNS dan mengirimkan sinyal itu kembali, baik sadar maupun tidak sadar.

PNS terdiri dari seluruh jaringan saraf lain dalam tubuh yaitu saraf *kranial* dan saraf *spinal* yang menghubungkan otak dan *medulla spinalis* dengan reseptor dan efektor. PNS terdiri dari sistem saraf yang mengendalikan organ indera (mata, telinga, saraf peraba, perasa, penciuman). Secara fungsional PNS terbagi menjadi sistem aferen dan sistem *eferen*. Saraf aferen (sensorik) mentransmisi

informasi dari reseptor sensorik ke CNS. Saraf *eferen* (motorik) mentransmisi informasi dari CNS ke otot dan kelenjar (Betts et al., 2017).

Sistem *eferen* dari sistem saraf perifer memiliki dua sub divisi. Divisi somatik (volunter) berkaitan dengan perubahan lingkungan eksternal dan pembentukan respons motorik volunter pada otot rangka. Divisi otonom (involunter) mengendalikan seluruh respons involunter pada otot polos, otot jantung dan kelenjar dengan cara mentransmisi impuls saraf melalui dua jalur. Saraf simpatis berasal dari area toraks dan lumbal pada *medulla spinalis*. Saraf parasimpatis berasal dari area otak dan *sacral* pada *medulla spinalis*.

Sebagian besar organ internal di bawah kendali otonom memiliki *inervasi simpatis* dan *parasimpatis*. Sistem saraf otonom memiliki sifat seolah-olah merupakan bagian sistem saraf pusat yang telah bermigrasi dari saraf pusat guna mencapai kelenjar, pembuluh darah, jantung, paru-paru dan usus. Sistem saraf otonom berhubungan pengendalian organ-organ dalam secara tidak sadar (Syaifuddin, 2011).



**Gambar 13.2:** Susunan Sistem Persarafan (Marieb, 2001)

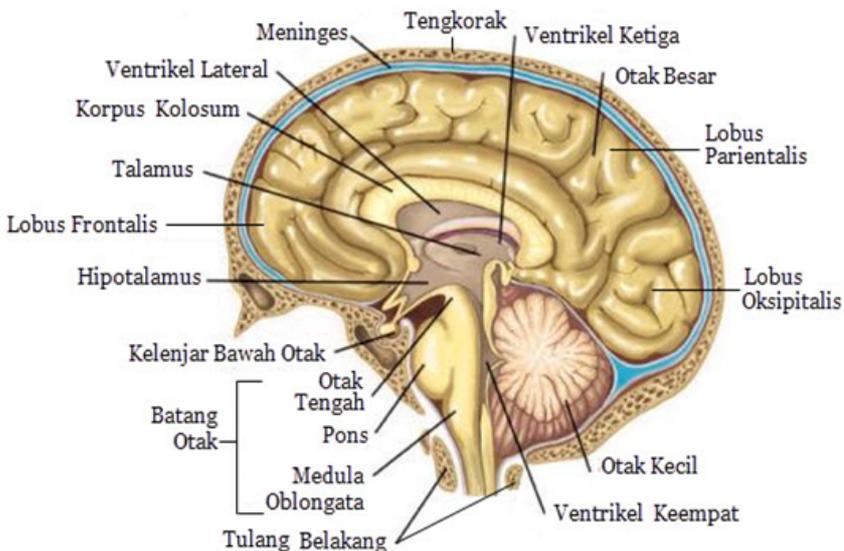
### 13.4.1 Central Nervous System

Merupakan pusat pengendalian dan regulasi berbagai aktivitas tubuh baik yang disadari (somatis) maupun yang tidak disadari (otonom). Organ utama pengendali sistem saraf pusat adalah otak dan *medulla spinalis* (Betts et al., 2017).

#### Otak

Merupakan pusat kendali tubuh dengan bobot sekitar 2% dari total berat badan (1-1,5 kg) dan mempunyai sekitar 12 miliar neuron. Otak terdiri dari batang otak, serebrum, *serebelum* dan terdapat jaringan kelabu (gray matter) dan putih (white matter). Otak memerlukan 20% dari oksigen yang ada dalam tubuh dan sirkulasi otak menerima 20% dari curah jantung (750 ml/menit).

Otak memiliki permukaan yang tidak rata dan berlekuk-lekuk sebagai pengembangan neuron yang berada di dalamnya. Semakin berkembang otak seseorang, semakin banyak lekukannya. Lekukan yang berarah ke dalam (lembah) disebut sulkus dan lekukan yang berarah ke atas (gunungan) dinamakan girus.



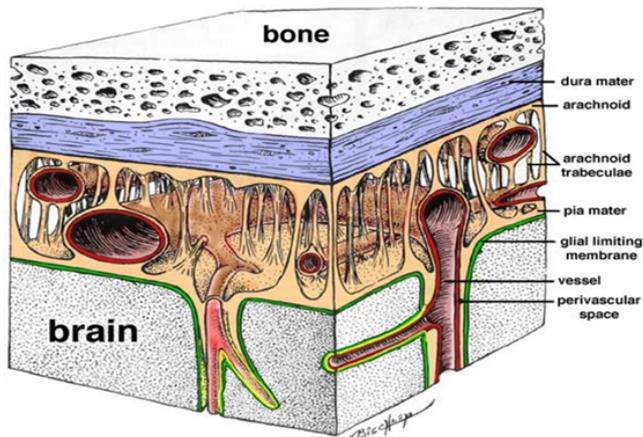
**Gambar 13.3:** Otak (Panji, 2015)

Otak dilindungi oleh tulang tengkorak dan membran pelindung yang dinamakan *meninges*. Meninges dari dalam keluar terdiri atas tiga bagian, yaitu *piameter*,

*arachnoid*, dan *duramater*. Daerah di antara *piamater* dan *arakhnoid* diisi oleh cairan yang disebut cairan serebrospinal yang berfungsi melindungi otak atau sumsum tulang belakang dari guncangan dan benturan.

Selaput *meninges* ini terdiri atas tiga bagian, yaitu sebagai berikut:

1. Piamater merupakan selaput paling dalam yang menyelimuti sistem saraf pusat. Lapisan ini banyak sekali mengandung pembuluh darah.
2. Arakhnoid merupakan selaput tipis yang berada di antara piamater dan duramater.
3. Duramater merupakan lapisan terluar yang terhubung dengan tengkorak.



**Gambar 13.4:** Lapisan Pelindung Otak (Adobdova, 2021)

Otak mendapatkan impuls dari medulla spinalis dan 12 pasang saraf kranial. Setiap saraf tersebut akan bermuara di bagian otak yang khusus. Otak manusia dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu otak depan, otak tengah, dan otak belakang.

Otak depan disebut juga *prosencephalon* atau *forebrain* terdiri dari serebrum, *thalamus* dan *hipothalamus* (Dafriani, 2019):

1. Serebrum

Merupakan bagian terbesar dari otak, yaitu mencakup 85% dari volume seluruh bagian otak. Bagian otak besar terdiri atas dua belahan

(hemisfer), yaitu belahan otak kiri dan otak kanan. Setiap belahan tersebut akan mengatur kerja organ tubuh yang berbeda. Otak kanan sangat berpengaruh terhadap kerja organ tubuh bagian kiri, serta bekerja lebih aktif untuk pengerjaan masalah yang berkaitan dengan seni atau kreativitas. Bagian otak kiri memengaruhi kerja organ tubuh bagian kanan serta bekerja aktif pada saat Anda berpikir logika dan penguasaan bahasa atau komunikasi.

Di antara bagian kiri dan kanan hemisfer otak, terdapat jembatan jaringan saraf penghubung yang disebut dengan *corpus callosum*. Beberapa bagian dari hemisfer mempunyai tugas yang berbeda terhadap informasi yang masuk. Bagian-bagian tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Temporal, berperan dalam mengolah informasi suara.
- b. Oksipital, berhubungan dengan pengolahan impuls cahaya dari penglihatan.
- c. Parietal, merupakan pusat pengaturan impuls dari kulit serta berhubungan dengan pengenalan posisi tubuh.
- d. Frontal, merupakan bagian yang penting dalam proses ingatan dan perencanaan kegiatan manusia.

## 2. Talamus

Mengandung badan sel neuron yang melanjutkan informasi menuju otak besar. Talamus membagi data menjadi beberapa kategori, misalnya semua sinyal sentuhan dari tangan. Talamus juga dapat menekan suatu sinyal dan memperbesar sinyal lainnya. Setelah itu talamus menghantarkan informasi menuju bagian otak yang sesuai untuk diterjemahkan dan ditanggapi.

## 3. Hipotalamus

Mengontrol kelenjar hipofisis dan mengekspresikan berbagai macam hormon. Hipotalamus juga dapat mengontrol suhu tubuh, tekanan darah, rasa lapar, rasa haus, dan hasrat seksual. Hipotalamus juga dapat disebut sebagai pusat kecanduan karena dapat dipengaruhi oleh obat-obatan yang menimbulkan kecanduan, seperti amfetamin dan kokain. Pada bagian lain hipotalamus, terdapat kumpulan sel neuron yang

berfungsi sebagai jam biologis. Jam biologis ini menjaga ritme tubuh harian, seperti siklus tidur dan bangun tidur. Di bagian permukaan otak besar terdapat bagian yang disebut *telensefalon* serta diensefalon. Pada bagian diensefalon, terdapat banyak sumber kelenjar yang menyekresikan hormon, seperti hipotalamus dan kelenjar pituitari (hipofisis). Bagian *telensefalon* merupakan bagian luar yang mudah kita amati dari model torso.

Otak tengah disebut juga *mesencephalon* atau *midbrain* adalah area otak yang menghubungkan otak depan (*forebrain*) dan otak belakang (*hindbrain*). Fungsi otak tengah adalah untuk mengontrol respons penglihatan, pendengaran, gerakan bola mata dan dilatasi pupil, gerakan motorik, kewaspadaan (*alertness*), serta mengatur suhu tubuh (Dafriani, 2019).

Otak belakang disebut juga *myelencephalon* atau *hindbrain* yang terdiri dari *serebellum*, *medulla oblongata*, dan *pons varoli*. Otak belakang berperan dalam keseimbangan tubuh dan koordinasi gerakan otot serta mengintegrasikan impuls saraf yang diterima dari sistem gerak untuk menjaga keseimbangan tubuh pada saat beraktivitas.

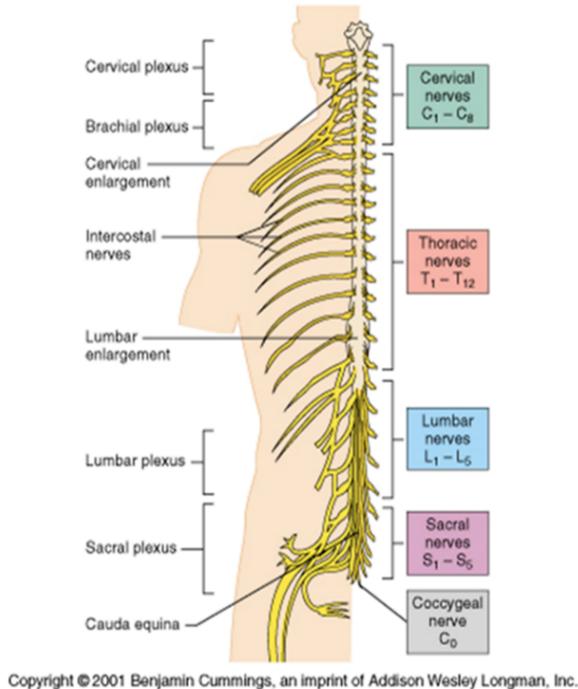
Kerja *myelencephalon* berhubungan dengan sistem keseimbangan lainnya, seperti *proprioceptor* dan saluran keseimbangan di telinga yang menjaga keseimbangan posisi tubuh. Informasi dari otot bagian kiri dan bagian kanan tubuh yang diolah di bagian serebrum akan diterima oleh *serebellum* melalui jaringan saraf yang disebut *pons varoli*. Di bagian *serebellum* terdapat saluran yang menghubungkan antara otak dengan sumsum tulang belakang yang dinamakan *medulla oblongata*. *Medulla oblongata* berperan pula dalam mengatur pernapasan, denyut jantung, pelebaran dan penyempitan pembuluh darah, gerak menelan, dan batuk. Batas antara *medulla oblongata* dan sumsum tulang belakang tidak jelas.

Oleh karena itu, *medulla oblongata* sering disebut sebagai sumsum lanjutan. *Pons varoli* dan *medulla oblongata*, selain berperan sebagai pengatur sistem sirkulasi, kecepatan detak jantung, dan pencernaan, juga berperan dalam pengaturan pernapasan. Bahkan, ketika serebrum dan *serebellum* seseorang rusak, ia masih dapat hidup karena detak jantung dan pernapasannya yang masih normal.

Hal tersebut dikarenakan fungsi medulla oblongata yang masih baik. Peristiwa ini umum terjadi pada seseorang yang mengalami koma yang berkepanjangan. Bersama otak tengah, pons varoli dan medulla oblongata membentuk unit fungsional yang disebut batang otak atau brainstem (Lara-Aparicioa, 2021).

### Medulla Spinalis

*Medulla spinalis* merupakan bagian dari CNS dan sebagai struktur penghubung otak dengan seluruh tubuh/perifer (PNS). Medulla spinalis membentang dari foramen magnum sampai setinggi vertebralis I dan II. Ujung bawahnya runcing seperti kerucut yang disebut konus medularis terletak di dalam kanalis vertebra melanjutkan sebagai benang-benang (filum terminal) dan akhirnya melekat pada vertebra *koksigalis* pertama (Evelyn, 2016).



**Gambar 13.5:** Medulla Spinalis (Marieb, 2001)

Medulla spinalis mengandung 31 pasang saraf spinal yang dilindungi oleh ruas-ruas tulang belakang yang memanjang dari pangkal leher, hingga ke tulang ekor. Secara anatomis, medulla spinalis merupakan kumpulan sistem saraf yang

dilindungi oleh ruas-ruas tulang belakang. *Medulla spinalis* atau sumsum tulang belakang ini merupakan kumpulan sistem saraf dari dan ke otak, yang berperan langsung dalam proses/gerak refleks

Secara rinci, ruas-ruas tulang belakang yang melindungi *medulla spinalis* ini adalah sebagai berikut:

Sebanyak 31 pasang saraf spinalis yang terdapat pada *medulla spinalis* terdiri dari 7 pasang dari segmen servikal, 12 pasang dari segmen thorakal, 5 pasang dari segmen *lumbalis*, 5 pasang dari segmen *sacralis* dan 1 pasang dari segmen *koxigeus*.

1. Vertebra servikalis yang membentuk tulang leher dan berjumlah 7 ruas.
2. Vertebra thorakalis yang membentuk bagian belakang torax atau dada dan berjumlah 12 ruas.
3. Vertebra lumbalis yang membentuk tulang pinggang dan berjumlah 5 ruas.
4. Vertebra sakralis yang membentuk tulang kelangkang (sakrum) dan berjumlah 5 ruas.
5. Vertebra koksigeus yang membentuk tulang tungging dan berjumlah 4 ruas.

*Medulla spinalis* berfungsi mengintegrasikan sinyal sensoris yang dapat mengaktifkan keluaran motorik secara langsung tanpa campur tangan otak. Fungsi ini terlihat pada mekanisme kerja refleks spinal. *Medulla spinalis* juga berfungsi sebagai pusat perantara PNS dan otak, semua komando motorik volunter dari otak ke otot-otot dikomunikasikan terlebih dahulu pada pusat motorik spinal. Sinyal sensorik dari reseptor perifer ke otak harus terlebih dahulu dikomunikasikan ke pusat sensorik di *medulla spinalis*.

Pada *medulla spinalis* sinyal sensorik sebagian besar diproses dan diintegrasikan sehingga *medulla spinalis* menjadi tempat komunikasi dua arah antara otak dan *medulla spinalis* (Syarifuddin, 2011).

### 13.4.2 Peripheral Nervous System

*Peripheral Nervous System* (PNS) atau sistem saraf tepi terdiri atas serabut saraf kranial dan serabut saraf *medulla spinalis*. Serabut saraf kranial keluar dari otak

sedangkan serabut saraf medula spinalis keluar dari sela-sela ruas tulang belakang.

Tiap pasang serabut saraf otak akan menuju ke alat tubuh atau otot, misalnya ke hidung, mata, telinga, dan sebagainya. Sistem saraf tepi terdiri atas serabut saraf sensorik dan motorik yang membawa impuls saraf menuju ke dan dari sistem saraf pusat.

Sistem saraf tepi dibagi menjadi dua, berdasarkan cara kerjanya, yaitu sebagai berikut (American Association of Neurological Surgeon, 2023):

### **Sistem Saraf Sadar atau Somatis (Volunter)**

Sistem saraf sadar bekerja secara sadar dan dapat kita kendalikan. Contoh ketika makan, menulis, berbicara, maka saraf inilah yang mengkoordinirnya. Impuls dari reseptor saraf ini diteruskan ke sistem saraf pusat, dan impuls diteruskan dari sistem saraf pusat ke semua otot kerangka tubuh. Sistem saraf sadar terdiri atas 12 pasang saraf kranial, yang keluar dari otak dan 31 pasang saraf spinal yang keluar dari sumsum tulang belakang. Saraf-saraf tersebut terdiri atas gabungan saraf sensorik dan motorik .

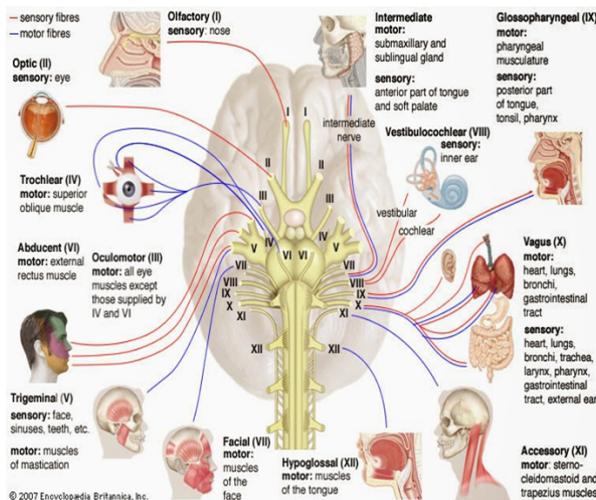
**Tabel 13.1:** Saraf Kranial (Syiaifuddin, 2011)

| Nomor | Nama Saraf       | Sifat Saraf       | Fungsi Saraf   |
|-------|------------------|-------------------|--|
| I     | N. Olfaktorius   | Sensoris          | Untuk fungsi penciuman   |
| II    | N. Optikus       | Sensoris          | Mempersarafi bola mata untuk fungsi penglihatan  |
| III   | N. Okulomotorius | Motorik           | Menggerakkan bola mata dan mengangkat kelopak mata   |
| IV    | N. Troklearis    | Motorik           | Memutar dan menggerakkan bola mata   |
| V     | N. Trigeminus    | Motorik, Sensoris | Mempersarafi sensoris wajah dan motorik mengunyah.   |
|       | N. Optalmikus    | Motorik, Sensoris | Mempersarafi pada area kulit kepala, dahi, hidung, kelopak mata bagian atas, konjungtiva, dan kornea |
|       | N. Maksilaris    | Sensoris          | Mempersarafi rahang atas, paltum dan hidung  |
|       | N. Mandibularis  | Motorik, Sensoris | Mempersarafi rahang bawah dan lidah  |
| VI    | N. Abdusen       | Motorik           | Menggerakkan sisi mata   |
| VII   | N. Fasialis      | Motorik, Sensoris | Menggerakkan otot dan sisi lidah, mempersarafi selaput lendir rongga mulut                           |

|      |                  |                   |   |
|------|------------------|-------------------|---|
| VIII | N. Auditorius    | Sensoris          | Mempersarafi telinga untuk mendengar                        |
| IX   | N. Glosfaringeus | Motorik, Sensoris | Mempersarafi faring, tonsil, lidah dan rangsangan cita rasa |
| X    | N. Vagus         | Motorik, Sensoris | Mempersarafi faring, laring, paru, jantung esofagus         |
| XI   | N. Aksesorius    | Motorik           | Mempersarafi leher dan otot-otot leher                      |
| XII  | N. Hipoglosus    | Motorik           | Mempersarafi lidah, cita rasa dan otot lidah                |

Indra somatis merupakan saraf yang mengumpulkan informasi sensoris dari tubuh. Indra soamtis dapat digolongkan menjadi tiga jenis:

1. Indra Somatis mekanoreseptif, yang dirangsang oleh pemindahan mekanisme sejumlah jaringan tubuh, meliputi indra raba, tekanan, kecepatan gerak berbagai bagian tubuh yang dikelompok menjadi sensasi eksteroreseptif (permukaan tubuh), sensasi proprioseptif (sensasi yang berhubungan keadaan fisik, seperti sensasi kenestetik), sensasi viseral (organ dalam, seperti tulang atau fasia),
2. Indra termoreseptor yang berfungsi mendeteksi panas dan dingin.
3. Indra nyeri, distimulus oleh faktor yang merusak jaringan, menyertakan sensasi perasaan dan emosi.



**Gambar 13.6:** Saraf Kranial (Encyclopedia Britannica, 2007)

### **Sistem Saraf Tak Sadar atau Otonom (Involunter)**

Sistem saraf ini bekerja tanpa disadari, secara otomatis, dan tidak di bawah kehendak saraf pusat. Misalnya denyut jantung, perubahan pupil mata, gerakan saluran pencernaan, eksresi keringat, dan lain-lain. Kerja saraf otonom sedikit banyak dipengaruhi oleh hipotalamus di otak.

Apabila hipotalamus distimulus, maka akan berpengaruh terhadap gerak otonom seperti mempercepat denyut jantung, dilatasi pupil, dan menghambat kerja saluran pencernaan.

Ada dua macam saraf otonom (Evelyn, 2016):

#### 1. Saraf Simpatik

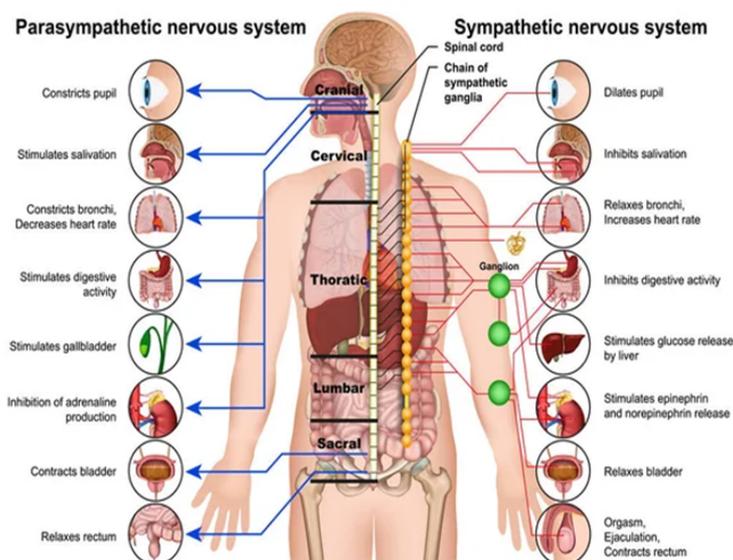
Saraf ini terdiri atas serangkaian urat kembar yang mengandung ganglion-ganglion, terletak di depan ruas tulang belakang dan berakhir dalam pelvis di depan *kogsigis*. Fungsi saraf ini terutama untuk memacu kerja organ tubuh, walaupun ada beberapa yang malah menghambat kerja organ tubuh. Fungsi memacu, antara lain mempercepat detak jantung, memperbesar pupil mata, memperbesar bronkus. Adapun fungsi yang menghambat, antara lain memperlambat kerja alat pencernaan, menghambat ereksi, dan menghambat kontraksi kantung seni.

#### 2. Sistem Saraf Parasimpatik

Saraf ini memiliki fungsi kerja yang berlawanan jika dibandingkan dengan saraf simpatik. Saraf parasimpatik memiliki fungsi, antara lain menghambat detak jantung, memperkecil pupil mata, memperkecil bronkus, mempercepat kerja alat pencernaan, merangsang ereksi, dan mempercepat kontraksi kantung seni. Karena cara kerja kedua saraf itu berlawanan, maka mengakibatkan keadaan yang normal.

Beberapa organ dan kelenjar memiliki pengendalian ganda (simpatis dan parasimpatis) yaitu menerima serabut dari sistem saraf simpatis, disamping beberapa serabut dari saraf otonom sakral dan kranial. Sekelompok organ distimulus oleh sekelompok urat saraf, dan dipihak lain dilambatkan atau dihentikan oleh sekelompok urat saraf yang lain dengan kata lain masing-masing kelompok bekerja secara berlawanan dengan tetap mempertahankan kesesuaian antara aktivitas dan

istirahat serta ritme kegiatan organ-organ dalam, kelenjar, pembuluh darah, serta otot involunter juga dipertahankan. Sebagai contoh, jantung menerima serabut akselerator dari saraf simpatis dan inhibitor dari nervus vagus (Evelyn, 2016).



**Gambar 13.7:** Saraf Parasimpatis dan Simpatik (Deposit Photo, 2023)

## 13.5 Fisiologi Sistem Persarafan

Kemampuan mentransmisi suatu respons terhadap stimulus, kemampuan khusus seperti iritabilitas, sensitivitas terhadap stimulus, konduktivitas diatur sistem saraf melalui tiga cara:

1. Input sensoris, menerima sensasi atau stimulus melalui reseptor yang terletak di tubuh baik stimulus internal maupun eksternal.
2. Aktivitas integratif, perubahan stimulus menjadi impuls listrik yang menjalar di sepanjang saraf sampai ke otak dan medulla spinalis, dilanjutkan dengan interpretasi stimulus sehingga menghasilkan respons.

3. Output motorik, respons terhadap impuls listrik dari otak dan medulla spinalis yang dilakukan oleh otot dan kelenjar tubuh sebagai sel-sel efektor.

### **Pengolahan Informasi**

Berbagai informasi yang diterima otak diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan respons berupa reaksi motorik. Lebih dari 99 % dari informasi sensoris dibuang karena tidak penting sehingga tidak direspons oleh tubuh. Misalnya ketika kita menyadari bersentuhan dengan pakaian, tapi tubuh tidak memberi respons. Bila informasi yang masuk penting maka akan dipilih dan disalurkan ke daerah motorik otak yang tepat untuk menghasilkan reaksi (Syarifuddin, 2011).

Sinaps sebagai penghubung neuron dengan neuron selanjutnya untuk mengatur pengantaran sinyal, menentukan arah penyebaran sinyal di dalam sistem saraf. Beberapa neuron bereaksi terhadap stimulus sejumlah impuls sedangkan yang lain bereaksi terhadap beberapa impuls saja. Sinaps melakukan tindakan selektif, sering menghambat sinyal lemah dan meneruskan sinyal kuat, tidak menyalurkan sinyal ke berbagai arah tapi hanya ke satu arah (Betts et al., 2017).

Hanya informasi sensoris yang penting saja menyebabkan reaksi motorik segera. Sebagian besar sisanya disimpan dan diolah untuk kegiatan motorik berikutnya dan digunakan dalam proses berpikir. Penyimpanan ini terjadi di korteks serebri dan sebagian kecil di basal otak dan medula spinalis.

Penyimpanan informasi ini merupakan proses daya ingat dan merupakan fungsi sinaps ketika sinyal sensoris melalui serangkaian sinaps. Sinaps tersebut akan menghantar sinyal yang sama pada kesempatan selanjutnya dan proses ini disebut dengan fasilitasi. Jika sinyal sensoris ini terjadi berulang maka akan sedemikian terfasilitasi sinyal dari otak menyebabkan hantaran impuls melalui rangkai impuls yang sama. Meskipun input sensoris tidak ada menyebabkan orang mengalami perasaan yang asli meskipun itu sebenarnya hanya berupa ingatan tentang perasaan tersebut (Syarifuddin, 2011).

Mekanisme terjadinya fasilitasi sinaps tidak dapat dijelaskan semuanya dalam proses daya ingat. Namun jika memori telah tersimpan dalam otak maka akan menjadi bagian dari pengolahan yang dikenal dengan proses berpikir. Otak akan membandingkan stimulus sensoris baru dengan memori yang telah tersimpan. Hal ini kan membantu menyeleksi informasi sensoris baru yang penting dan menyalurkannya yang sesuai untuk kemudian digunakan kembali.

## Sinaps

*Sinaps* adalah suatu daerah kontak khusus di ujung akson, tempat persambungan antar sel-sel saraf dan dilepasnya neurotransmitter. Informasi dihantarkan dalam bentuk sinyal listrik (potensial aksi) melewati akson kemudian di akson terminal diubah menjadi sinyal kimia senyawa organik *endogenous* (neurotransmitter) lalu diterima sel target (reseptor) dan diubah kembali menjadi sinyal listrik hingga terbentuklah respons.

Secara anatomis, *sinaps* tersusun atas tiga komponen yaitu:

1. bagian presinaps;
2. celah sinaps, dan;
3. bagian pasca.

Bagian *presinaps* merupakan akson terminal dari neuron yang melepaskan neurotransmitter. Celah sinaps merupakan kompartemen cairan ekstraseluler dengan lebar antara 10-20 nm yang memisahkan neuron presinaps dengan neuron pascasinaps. Bagian pascasinaps memiliki reseptor khusus pada bagian membrannya yang memungkinkan neurotransmitter berikatan (Syarifuddin, 2011).

Berdasarkan cara komunikasinya, sinaps terbagi atas dua tipe yaitu sinaps listrik dan sinaps kimiawi. Sinaps listrik menghantarkan sinyal listrik secara langsung dari satu sitoplasma ke sitoplasma sel yang lain melalui gap junction. Sinyal informasi dapat berjalan di kedua arah melewati *gap junction*, tapi dalam kondisi tertentu sinyal listrik hanya dapat berjalan satu arah. Sinaps listrik terdapat terutama di susunan saraf pusat. Mereka juga dapat ditemukan di sel glial, jantung dan otot polos, serta di jaringan tidak peka rangsang yang menggunakan sinyal listrik seperti sel beta pankreas.

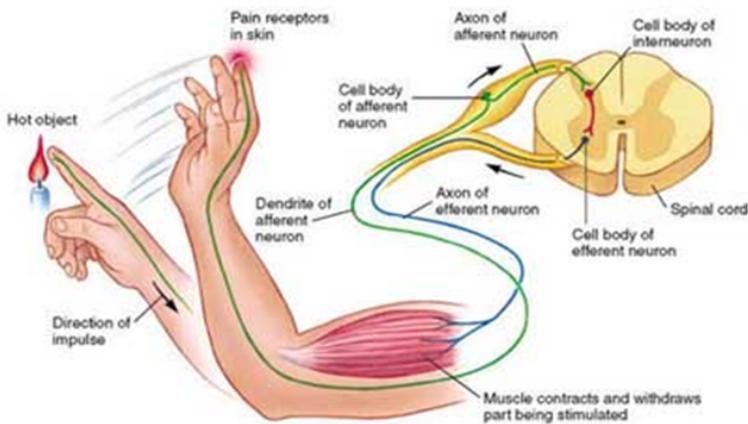
Kegunaan utama dari sinaps listrik adalah konduksi cepat untuk sinyal dari sel ke sel yang menyinkronkan aktivitas pada sekelompok kerja sel. Gap junction juga memungkinkan molekul sinyal kimiawi untuk berdifusi di sela-sela sel (Betts et al., 2017).

Sebagian besar sinaps dalam sistem saraf merupakan sinaps kimia yang menggunakan molekul neurokrin untuk membawa informasi dari satu sel ke sel yang lain. Pada sinaps kimia, sinyal listrik dari presinaps diubah menjadi neurotransmitter yang melewati celah sinaps dan berikatan dengan reseptor pada sel target (Betts et al., 2017).

## Refleks

Refleks merupakan gerakan pertahanan tubuh yang terjadi jauh lebih cepat dari gerak sadar, bersifat otonom dan tidak disadari, misalnya menutup mata pada saat terkena debu, menarik kembali tangan dari benda panas yang tersentuh tanpa sengaja dll. Refleks dapat berupa penurunan atau peningkatan kegiatan, misalnya, kontraksi atau relaksasi otot, kontraksi atau relaksasi pembuluh darah.

Dengan demikian tubuh mampu melakukan reaksi yang cepat sebagai respons terhadap stimulus yang berasal dari dalam maupun luar dan disertai adaptasi terhadap perubahan tersebut (Nurhastuti and Iswari, 2018). Proses terjadinya refleks melalui jalur tertentu yang disebut lengkung refleks. Lengkung refleks terdiri dari reseptor sensoris, neuron sensoris, pusat saraf (pusat sinaps), neuron motorik dan efektor tempat terjadinya reaksi (Evelyn, 2016). Terciptanya gerakan refleks bertujuan untuk melindungi diri kita dari ancaman berupa suhu, goresan benda tajam, debu, atau situasi yang berbahaya.



**Gambar 13.8:** Fisiologi Refleks (Betts et al., 2017)

# Bab 14

## Metabolisme dan Pengaturan Suhu Tubuh

### 14.1 Pendahuluan

Metabolisme merupakan seluruh proses kimiawi yang terjadi di seluruh tubuh di dalam setiap sel dan yang menyediakan energi bagi tubuh. Energi ini digunakan untuk proses-proses vital dan sintesis bahan organik baru. Metabolisme mempertahankan kehidupan dan fungsi normal. Proses-proses ini termasuk proses yang memecah nutrisi dari makanan kita, dan proses yang membangun serta memperbaiki tubuh kita.

Metabolisme merupakan sejumlah reaksi kimia yang terjadi di dalam setiap sel organisme hidup dan yang menyediakan energi untuk proses-proses vital dan untuk menyintesis bahan organik baru (Kornberg, 2023). Metabolisme adalah jumlah keseluruhan reaksi kimia dan fisik dan perubahan energi dalam tubuh yang menopang dan mempertahankan kehidupan (Sloane, 2004). Istilah metabolisme mencakup semua reaksi yang terjadi di dalam tubuh. Segala sesuatu yang terjadi di dalam diri kita adalah bagian dari metabolisme.

### Proses Metabolisme Tubuh

Reaksi-reaksi metabolisme dapat dibagi menjadi dua kategori utama: anabolisme dan katabolisme. Proses pembuatan dan pemecahan molekul glukosa menggambarkan dua jenis jalur metabolisme. Pada sel yang sedang tumbuh, proses anabolik mendominasi proses katabolik. Pada sel yang tidak tumbuh, terdapat keseimbangan di antara keduanya (Britannica, 2019).

Anabolisme adalah serangkaian jalur metabolisme yang membangun molekul dari unit-unit yang lebih kecil (Bolster, 1997). Reaksi-reaksi ini membutuhkan energi, yang juga dikenal sebagai proses *endergonik*. Anabolisme biasanya identik dengan biosintesis. Anabolisme adalah peristiwa sintesis atau penyusunan. Anabolisme memerlukan energi, misalnya: energi cahaya untuk fotosintesis, energi kimia untuk *kemosintesis*.

Katabolisme adalah serangkaian jalur metabolisme yang memecah molekul menjadi unit-unit yang lebih kecil yang dioksidasi untuk melepaskan energi atau digunakan dalam reaksi anabolik lainnya (Bolster, 1997). Katabolisme memecah molekul-molekul besar (seperti polisakarida, lipid, asam nukleat, dan protein) menjadi unit-unit yang lebih kecil (masing-masing seperti monosakarida, asam lemak, nukleotida, dan asam amino). Katabolisme adalah aspek penguraian metabolisme, sedangkan anabolisme adalah aspek pembentukan.

## 14.2 Tingkat Metabolisme (Metabolisme Rate)

Laju metabolisme tubuh Anda (atau pengeluaran energi total) dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu:

1. Tingkat Metabolisme Basal (BMR) - bahkan saat istirahat, tubuh membutuhkan energi (kilo joule) untuk menjaga agar semua sistem berfungsi dengan baik (seperti bernapas, menjaga agar jantung tetap berdenyut untuk mengedarkan darah, menumbuhkan dan memperbaiki sel, serta menyesuaikan kadar hormon). BMR tubuh menyumbang jumlah energi terbesar yang dikeluarkan setiap hari (50-80 persen dari penggunaan energi harian Anda).

2. Efek panas dari makanan (juga dikenal sebagai termogenesis) - tubuh Anda menggunakan energi untuk mencerna makanan dan minuman yang Anda konsumsi dan juga menyerap, mengangkut, dan menyimpan nutrisinya. *Termogenesis* menyumbang sekitar 5-10 persen dari penggunaan energi Anda.
3. Energi yang digunakan selama aktivitas fisik - ini adalah energi yang digunakan oleh gerakan fisik dan paling bervariasi tergantung pada berapa banyak energi yang Anda gunakan setiap hari. Aktivitas fisik termasuk olahraga yang direncanakan (seperti berlari atau berolahraga), tetapi juga mencakup semua aktivitas yang tidak disengaja (seperti mencuci baju, bermain dengan anjing, atau bahkan gelisah).

### **Laju Metabolisme Basal (BMR)**

BMR mengacu pada jumlah energi yang dibutuhkan tubuh Anda untuk mempertahankan homeostasis. BMR Anda sebagian besar ditentukan oleh total massa tanpa lemak Anda, terutama massa otot, karena massa tanpa lemak membutuhkan banyak energi untuk mempertahankannya. Apa pun yang mengurangi massa tanpa lemak akan mengurangi BMR Anda.

Karena BMR Anda menyumbang begitu banyak dari total konsumsi energi Anda, penting untuk mempertahankan atau bahkan meningkatkan massa otot tanpa lemak Anda melalui olahraga saat mencoba menurunkan berat badan. Mempertahankan massa otot juga membantu mengurangi kemungkinan cedera saat latihan, dan olahraga meningkatkan pengeluaran energi harian Anda. Untuk menghitung BMR memerlukan sebuah rumus (rumus Harris-Benedict atau rumus Mifflin-St Jeor). Data yang diperlukan berat dan tinggi badan serta usia.

Pada pria, rumus Harris-Benedict yang digunakan adalah:  $BMR = 66,4730 + 13,7516 \times \text{berat badan dalam kg} + 5,0033 \times \text{tinggi badan dalam cm} - 6,7550 \times \text{usia dalam tahun}$ . Pada wanita,  $BMR = 655,0955 + 9,5634 \times \text{berat badan dalam kg} + 1,8496 \times \text{tinggi badan dalam cm} - 4,6756 \times \text{usia dalam tahun}$  (JA and FG, 1918).

## 14.3 Faktor Mempengaruhi Metabolisme Tubuh

Metabolisme setiap orang berbeda-beda, dipengaruhi oleh berbagai faktor. Metabolisme tubuh rendah, ada beberapa cara meningkatkan metabolisme tubuh yang dapat dilakukan. Kebutuhan energi akan tetap terpenuhi dan fungsi organ-organ tubuh tetap terjaga.

Faktor yang mempengaruhi metabolisme tubuh (AJ and PL, 2014):

1. Usia  
Pertambahan usia membuat jumlah lemak di tubuh bertambah, sementara jumlah otot berkurang. Tidak seperti otot, lemak tidak membakar kalori. Itulah sebabnya, pertambahan usia menyebabkan tingkat pembakaran kalori di dalam tubuh jadi lambat.
2. Jenis kelamin  
Laki-laki umumnya memiliki massa otot yang lebih besar. Semakin besar massa otot, semakin banyak energi yang dibakar saat bergerak, sehingga tingkat metabolisme laki-laki lebih tinggi daripada wanita.
3. Ukuran dan komposisi tubuh  
Ukuran tubuh lebih besar dan berotot akan membakar lebih banyak kalori, bahkan ketika sedang beristirahat. Ini membuat tingkat metabolisme tubuhnya menjadi lebih tinggi.
4. Suhu tubuh  
Suhu tubuh normal berkisar antara 36,5–370 Celsius. Pada suhu tersebut, tubuh menjalani proses metabolisme dengan lebih teratur dan stabil. Ketika terpapar suhu udara yang terlalu dingin, tubuh akan meningkatkan metabolisme untuk menghasilkan panas. Salah satu caranya adalah dengan refleks menggigil, di mana otot-otot bergerak dengan cepat untuk membakar energi dan menghasilkan panas.
5. Aktivitas fisik dan olahraga  
Berolahraga atau melakukan aktivitas fisik sehari-hari, seperti, berjalan kaki, naik-turun tangga, akan membuat tubuh membakar lebih banyak kalori. Semakin banyak aktivitas yang dilakukan, semakin

banyak kalori yang dibakar dan semakin tinggi pula tingkat metabolisme tubuh.

## 14.4 Pengaturan Suhu Tubuh

### Suhu Tubuh

Suhu tubuh adalah perbedaan antara jumlah panas yang diproduksi oleh tubuh dan jumlah panas yang hilang ke lingkungan luar. Suhu yang dimaksud adalah panas atau dingin suatu substansi (Potter et al., 2019). Suhu tubuh normal dianggap  $37^{\circ}\text{C}$  ( $98,6^{\circ}\text{F}$ ) namun, di antara individu normal, rata-rata suhu harian dapat berbeda  $0,5^{\circ}\text{C}$  ( $0,9^{\circ}\text{F}$ ), dan variasi harian dapat mencapai  $0,25$  hingga  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Titik terendah suhu tubuh biasanya terjadi sekitar pukul 4 pagi dan puncaknya sekitar pukul 6 sore. Ritme sirkadian ini cukup konstan untuk individu dan tidak terganggu oleh periode demam atau hipotermia. Perubahan yang berkepanjangan pada siklus tidur siang dan bangun malam akan menyebabkan koreksi adaptif pada ritme suhu sirkadian. Suhu rektal normal biasanya  $0,27^{\circ}$  hingga  $0,38^{\circ}\text{C}$  ( $0,5^{\circ}$  hingga  $0,7^{\circ}\text{F}$ ) lebih besar dari suhu mulut. Suhu ketiak sekitar  $0,55^{\circ}\text{C}$  ( $1,0^{\circ}\text{F}$ ) lebih rendah dari suhu mulut (Victor E. Del Bene, 1990).

### Termoregulasi Suhu Tubuh

*Termoregulasi* adalah mekanisme yang digunakan untuk mempertahankan suhu tubuh dengan pengaturan diri yang dikontrol secara ketat dan tidak bergantung pada suhu eksternal. Regulasi suhu adalah jenis homeostasis dan sarana untuk menjaga suhu internal yang stabil agar dapat bertahan hidup (Osilla, Marsidi and Sharma, 2022).

*Termoregulasi* adalah suatu mekanisme makhluk hidup untuk mempertahankan suhu internal agar berada di dalam kisaran yang dapat ditolerir. Proses yang terjadi pada hewan untuk mengatur suhu tubuhnya agar tetap konstan dinamis. Mekanisme *Termoregulasi* terjadi dengan mengatur keseimbangan antara perolehan panas dengan pelepasan panas.

*Termoregulasi* memiliki tiga mekanisme: penginderaan aferen, kontrol pusat, dan respons eferen. Terdapat reseptor untuk panas dan dingin di seluruh tubuh manusia. Penginderaan aferen bekerja melalui reseptor-reseptor ini untuk

menentukan apakah suhu inti tubuh terlalu panas atau dingin. Hipotalamus adalah pengendali utama *termoregulasi*. Hipotalamus yang terletak antara hemisfer serebral.

Terletak di bagian *rostral* batang otak di *encephalon*, hipotalamus adalah pengatur utama *homeostatis* dan fungsi vital termasuk reproduksi, metabolisme, osmoregulasi, pertumbuhan, respons stres, dan ritme sirkadian. Fungsi-fungsi ini dimediasi terutama melalui kontrol hipotalamus terhadap kelenjar hipofisis dan regulasi respons endokrin selanjutnya. Hipotalamus juga berfungsi sebagai integrator input dari sistem sensorik dan otonom yang menyampaikan informasi dari organisme dan juga dari lingkungan (Tabarean et al., 2010).

Ada juga komponen perilaku eferen yang merespons fluktuasi suhu tubuh. Sebagai contoh, jika seseorang merasa terlalu hangat, respons normalnya adalah melepaskan pakaian luar. Jika seseorang merasa terlalu dingin, mereka memilih untuk mengenakan lebih banyak lapisan pakaian. Respons eferen juga terdiri dari respons otomatis oleh tubuh untuk melindungi diri dari perubahan suhu yang ekstrem, seperti berkeringat, *vasodilatasi*, *vasokonstriksi*, dan menggigil (Osilla, Marsidi and Sharma, 2022). Respon vasokonstriksi tidak efektif dalam tambahan pengeluaran panas, tubuh akan merespons dengan mulai menggigil.

Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan suhu, Faktor fisiologis (usia, jenis kelamin, ukuran tubuh) dan faktor lingkungan (Garami and Székely, 2014). Walaupun terjadi perubahan suhu tubuh, tetapi tubuh mempunyai mekanisme homeostasis yang dapat mempertahankan suhu tubuh yang normal. Interaksi manusia dengan lingkungan merupakan faktor pendukung dalam mengatur suhu tubuh. Interaksi dengan lingkungan ini dapat membantu meningkatkan dan menurunkan pelepasan panas dari tubuh.

Jika berada dalam cuaca panas, kelenjar keringat di bawah kulit mengeluarkan keringat (cairan yang sebagian besar mengandung air dengan beberapa ion terlarut), yang mengalir ke saluran keringat, melalui pori-pori keringat, dan ke permukaan kulit. Hal ini menyebabkan hilangnya panas melalui pendinginan evaporatif; namun, banyak air esensial yang hilang. Rambut pada kulit terletak rata, mencegah panas terperangkap oleh lapisan udara diam di antara rambut.

Hal ini disebabkan oleh otot-otot kecil di bawah permukaan kulit yang disebut otot *pili arrektor* yang mengendur sehingga folikel rambut yang menempel tidak tegak. Rambut-rambut yang rata ini meningkatkan aliran udara di samping kulit sehingga meningkatkan kehilangan panas secara konveksi. Ketika suhu lingkungan berada di atas suhu inti tubuh, berkeringat adalah satu-satunya cara

fisiologis bagi manusia untuk kehilangan panas. Terjadi *vasodilatasi arteriolar*. Dinding otot polos *arteriolar* mengendur sehingga memungkinkan peningkatan aliran darah melalui arteri. Hal ini mengalirkan darah ke kapiler superfisial di kulit sehingga meningkatkan kehilangan panas melalui konveksi dan konduksi (Osilla, Marsidi and Sharma, 2022).

Pada kondisi lingkungan yang dingin, panas hilang terutama melalui tangan dan kaki. Produksi keringat berkurang. Otot-otot kecil di bawah permukaan kulit yang disebut otot *pili arrektor* (melekat pada folikel rambut) berkontraksi (piloereksi), mengangkat folikel rambut ke atas.

Hal ini membuat rambut berdiri tegak, yang bertindak sebagai lapisan isolasi, memerangkap panas. Inilah yang juga menyebabkan merinding karena manusia tidak memiliki banyak rambut dan otot-otot yang berkontraksi dapat dengan mudah terlihat. *Arteriolar* yang membawa darah ke kapiler superfisial di bawah permukaan kulit dapat menyusut (mengerut), sehingga mengalihkan darah menjauh dari kulit dan menuju ke inti tubuh yang lebih hangat. Hal ini mencegah darah kehilangan panas ke sekelilingnya dan juga mencegah suhu inti tubuh turun lebih jauh. Proses ini disebut *vasokonstriksi*. Tidak mungkin untuk mencegah semua kehilangan panas dari darah, hanya untuk menguranginya.

Dalam kondisi yang sangat dingin, *vasokonstriksi* yang berlebihan menyebabkan mati rasa dan kulit menjadi pucat. Radang dingin hanya terjadi jika air di dalam sel mulai membeku. Hal ini akan menghancurkan sel dan menyebabkan kerusakan (Osilla, Marsidi and Sharma, 2022).

Otot juga dapat menerima pesan dari pusat termoregulasi otak (hipotalamus) untuk menyebabkan menggigil. Hal ini meningkatkan produksi panas karena respirasi adalah reaksi eksotermik dalam sel otot. Menggigil lebih efektif daripada berolahraga dalam menghasilkan panas karena hewan (termasuk manusia) tetap diam. Ini berarti lebih sedikit panas yang hilang ke lingkungan melalui konveksi.

Ada dua jenis menggigil: intensitas rendah dan intensitas tinggi. Selama menggigil intensitas rendah, hewan menggigil secara konstan pada tingkat yang rendah selama berbulan-bulan selama kondisi dingin. Selama menggigil intensitas tinggi, hewan menggigil hebat dalam waktu yang relatif singkat. Kedua proses tersebut mengonsumsi energi, namun menggigil intensitas tinggi menggunakan glukosa sebagai sumber bahan bakar dan intensitas rendah cenderung menggunakan lemak. Ini adalah alasan utama mengapa hewan menyimpan makanan di musim dingin (Osilla, Marsidi and Sharma, 2022).

Ada empat cara kehilangan panas, yaitu konveksi, konduksi, radiasi, dan penguapan. Jika suhu kulit lebih besar daripada suhu lingkungan sekitar, tubuh dapat kehilangan panas melalui radiasi dan konduksi. Namun, jika suhu lingkungan sekitar lebih besar daripada suhu kulit, tubuh justru mendapatkan panas melalui radiasi dan konduksi.

Kondisi seperti itu, satu-satunya cara yang dapat digunakan tubuh untuk menghilangkan panas adalah dengan penguapan. Jadi, apabila suhu di sekeliling lebih tinggi daripada suhu kulit, akan menyebabkan suhu internal tubuh meningkat (Hall and Guyton, 2006).

#### 1. Konveksi

Kehilangan panas secara konveksi adalah perpindahan panas dari tubuh ke molekul yang bergerak seperti udara atau cairan. Lapisan udara tipis yang berdekatan dengan kulit dipanaskan oleh konduksi dari tubuh, sehingga membawa panas menjauh dari tubuh dalam arus udara sekitar.

Hal ini menyebabkan hilangnya panas secara konvektif. Perubahan postur tubuh dan respirasi dapat mempengaruhi kehilangan panas konvektif, dan jumlah kehilangan panas melalui konveksi tergantung pada luas permukaan kulit, kecepatan aliran udara, dan perbedaan suhu antara udara dan permukaan kulit (Luginbuehl and Bissonnette, 2009).

#### 2. Konduksi.

Sekitar 3 % panas biasanya hilang dari tubuh melalui konduksi langsung dari permukaan tubuh ke benda padat, seperti kursi atau tempat tidur. Kehilangan panas melalui konduksi ke udara, merupakan proporsi yang cukup besar dari kehilangan panas tubuh bahkan dalam kondisi normal. Perlu diingat bahwa panas sebenarnya adalah energi kinetik gerak molekul, dan molekul-molekul kulit adalah terus mengalami gerakan getaran.

Banyak dari energi gerakan ini dapat ditransfer ke udara jika udara lebih dingin dari kulit, sehingga meningkatkan kecepatan gerakan molekul udara. Setelah suhu udara yang berdekatan dengan kulit sama dengan suhu kulit, tidak ada kehilangan panas lebih lanjut yang terjadi dengan cara ini karena sekarang jumlah panas yang sama dihantarkan dari udara ke tubuh.

Oleh karena itu, konduksi panas dari tubuh ke udara terbatas kecuali udara panas bergerak menjauh dari kulit, sehingga udara baru yang tidak panas terus menerus bersentuhan dengan kulit, sebuah fenomena yang disebut konveksi udara (Guyton and Hall, 2016).

### 3. Radiasi.

Kehilangan panas melalui radiasi berarti kehilangan dalam bentuk sinar panas inframerah, sejenis gelombang elektromagnetik. Sebagian besar sinar panas inframerah yang memancar dari tubuh memiliki panjang gelombang 5 hingga 20 mikrometer, 10 hingga 30 kali panjang gelombang sinar cahaya.

Tubuh manusia memancarkan sinar panas ke segala arah. Sinar panas juga dipancarkan dari dinding ruangan dan benda-benda lain ke arah tubuh. Jika suhu tubuh lebih besar dari suhu lingkungan sekitar, jumlah yang lebih besar panas yang dipancarkan dari tubuh lebih banyak daripada yang dipancarkan ke tubuh (Guyton and Hall, 2016).

### 4. Penguapan

Ketika air menguap dari tubuh permukaan, 0,58 Kalori (kilokalori) panas hilang untuk setiap gram air yang menguap. Bahkan ketika seseorang tidak berkeringat, air masih menguap tanpa disadari dari kulit dan paru-paru dengan kecepatan sekitar 600 hingga 700ml/hari. Hal ini menyebabkan kehilangan panas secara terus menerus dengan kecepatan 16 hingga 19 Kalori per jam.

Penguapan yang tidak disadari melalui kulit dan paru-paru ini tidak dapat dikontrol untuk tujuan pengaturan suhu karena merupakan hasil dari difusi air yang terus-menerus molekul air melalui kulit dan permukaan pernapasan. Namun, hilangnya panas melalui penguapan keringat dapat dikontrol dengan mengatur laju keringat (Guyton and Hall, 2016).

## **Gangguan Keseimbangan Suhu Tubuh**

### 1. Demam

Kenaikan suhu tubuh melebihi variasi suhu normal sehari-hari dan disertai dengan kenaikan set point hipotalamus. Demam, atau pireksia,

adalah peningkatan suhu inti tubuh seseorang di atas 'titik setel' yang diatur oleh pusat *termoregulasi* tubuh di hipotalamus. Peningkatan suhu 'set-point' tubuh ini sering kali disebabkan oleh proses fisiologis yang disebabkan oleh penyebab infeksi atau penyebab non-infeksi seperti peradangan, keganasan, atau proses *autoimun*. Proses ini melibatkan pelepasan mediator imunologi, yang memicu pusat *termoregulasi* hipotalamus, yang menyebabkan peningkatan suhu inti tubuh (Balli, Shumway and Sharan, 2022).

Penting untuk dipahami bahwa definisi demam tidak sama dengan definisi *hipertermia* (hiperpireksia). Pada demam, terjadi peningkatan suhu 'titik setel' yang disebabkan oleh hipotalamus, yang memungkinkan tubuh untuk mempertahankan peningkatan suhu inti yang terkendali dan fungsionalitas umum semua sistem organ. Namun, pada *hipertermia*, peningkatan suhu inti tubuh berada di luar batas suhu set-titik dan regulasi hipotalamus (Balli, Shumway and Sharan, 2022).

## 2. Hipertermi

*Hipertermi* adalah keadaan suhu tubuh yang meningkat secara tidak terkontrol yang meningkatkan pengeluaran panas tanpa terjadi perubahan pada set poin hipotalamus (normal). Paparan panas dari luar dan produksi panas endogen merupakan mekanisme terjadinya *hipertermi*. Pembentukan panas yang berlebihan dapat dengan mudah menimbulkan *hipertermi* mengalahkan kontrol fisiologis dan tingkah laku suhu tubuh (Hall and Guyton, 2006).

## 3. Hipotermi

Hipotermia adalah suatu kondisi di mana mekanisme pengaturan suhu tubuh mengalami kesulitan untuk mengatasi tekanan suhu dingin. Hipotermia juga dapat didefinisikan sebagai suhu internal tubuh di bawah 35 °C (950F).. Tubuh manusia dapat mengatur suhu di zona *termoneutral*, yaitu antara 36,5-37,5 °C. Di luar suhu tersebut, respons pengaturan suhu tubuh akan aktif untuk menyeimbangkan produksi panas dan kehilangan panas dalam tubuh. Pada suhu ini, mekanisme kompensasi fisiologis untuk memelihara panas gagal. *Hipotermi* primer merupakan hasil dari paparan langsung individu yang sehat terhadap lingkungan dingin (James Li, 2021).

# Daftar Pustaka

- Abdullah, Mikrajudin. (2007). "IPA Terpadu - jilid 3A". Jakarta: ESIS.
- Adobdova (2021) Pengertian, Fungsi, bagian-bagian dan struktur sistem saraf. Available at: <https://jempolkimia.com/2021/06/09/pengertian-fungsi-bagian-bagian-dan-struktur-sistem-saraf/>.
- Aini, N., dan Aridiana, L. M. (2016) "Asuhan Keperawatan Pada Sistem Endokrin dengan Pendekatan NANDA NIC-NOC". Jakarta: Salemba Medika.
- Aj, H. And Pl, E. (2014) 'Basal Metabolic Rate: History , Composition , Regulation , And', *Physiol Biochem Zool*, 77(6), Pp. 869–876.
- Albahout, K. S., & Lopez, R. A. (2022). Anatomy, Head and Neck, Pharynx. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Alhadj M, Babos M. Physiology, Salivation (2023). In StatPearls. StatPearls Publishing.
- American Association of Neurological Surgeon (2023) Anatomy of the Spine and Peripheral Nervous System. Available at: <https://www.aans.org/en/Patients/Neurosurgical-Conditions-and-Treatments/Anatomy-of-the-Spine-and-Peripheral-Nervous-System>.
- Anderson, Paul D. (2008). "Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia", Jakarta : EGC.
- Anne, W. dan Allison, G. (2017) "Dasar-dasar Anatomi & Fisiologi", Edisi 12, Singapore: Elsevier
- aspects of lymphatic disease', *Journal of Clinical Investigation*, 124(3), pp. 915–921. Available at: <https://doi.org/10.1172/JCI71608>.

- Asriwati. (2017). "Fisika Kesehatan dalam Keperawatan, ". Yogyakarta: Deepublish
- Balli, S., Shumway, K.R. And Sharan, S. (2022) Physiology , Fever, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>.
- Belleza, M. (2023) Skeletal system anatomy and physiology. Nurseslabs. Available at: <https://nurseslabs.com>.
- Betts, J. et al. (2017) Anatomy Physiology. Texas: Openstax.
- Betts, J. G. et al. (2021). Anatomy and Physiology 2e. 2e edition. Place of publication not identified: OpenStax.
- Black, J.M. and Hawks, J.H. (2014) Keperawatan medikal bedah-manajemen
- Bolster, D. (1997)"Glossary Of Terms Used In Bioinorganic Chemistry: Anabolism", International Union Of Pure And Applied Chemistry. Archived [Preprint]. Available At: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6653\(200024\)14:1<60::Aid-Dir6>3.0.Co;2-A](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6653(200024)14:1<60::Aid-Dir6>3.0.Co;2-A).
- Bordoni, B., & Varacallo, M. (2022). Anatomy, Head and Neck, Temporomandibular Joint. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Britannica, T.E. Of E. (2019) Anabolism. Encyclopedia Britannica., <https://www.britannica.com/science/anabolism>.
- Brown, G, R dan Burns, T. (2002). Lecture Notes on Dermatology. Eighth Edition. Blackwell Science Ltd. Terjemahan Zakaria, M, A. 2005. Lecture Notes on Dermatologi. Edisi Kedelapan. Erlangga. Jakarta.
- Chang, E., Daly, J. dan Elliott, D. (2010) "Patofisiologi Aplikasi Pada Praktik Keperawatan". Jakarta : EGC.
- Chruscik, A., Kauter, K., Windus, Loisa., Whiteside, E. (2021) Fundamentals of anatomy and physiology. Leanne Dooley UPressbooks.pub.
- Dafriani, P. (2019) Buku Ajar Anatomi dan Fisiologi untuk mahasiswa Kesehatan. Padang: CV Berkah Prima.
- Deposit Photo (2023) Stock-illustration-sympathetic-parasympathetic-nervous-system-medical. Available at: <https://id.depositphotos.com/271512130/stock-illustration-sympathetic-parasympathetic-nervous-system-medical.html>.

- Disease Processes and Cancer Progression', *Annual Review of Biomedical Engineering*, 18(1), pp. 125–158. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-112315-031200>.
- Encyclopedia Britannica, I. (2007) 'Galerry'. Available at: <https://www.britannica.com/gallery/browse/Health-Medicine>.
- Engevik, A. C., Kaji, I., & Goldenring, J. R. (2020). The Physiology of the Gastric Parietal Cell. *Physiological reviews*, 100(2), 573–602. <https://doi.org/10.1152/physrev.00016.2019>
- Evelyn C. Pears (2011) *Anatomi dan fisiologi untuk paramedis*. Jakarta: Gramedia. Pustaka Utama.
- Evelyn Clare Pearce. (2016). "Anatomi dan Fisiologis untuk Paramedis": PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Evelyn, C. (2010). *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama,.
- Fox, S.I. (2013). "Human Physiology, 13 Edition". New York: McGraw-Hill.
- Ganong, W.F. (2014). "Buku Ajar Fisiologi Kedokteran". Edisi 24. Jakarta: Buku Kedokteran UGC.
- Garami, A. And Székely, M. (2014) 'Body Temperature: Its Regulation In Framework Of Energy Balance', *Temperature*, 1(1), Pp. 28–29. Available At: <https://doi.org/10.4161/Temp.29060>.
- Gibson, John. (2002). *Fisiologi & Anatomi Modern untuk Perawat*. [penerj.] Bertha Sugiarto. 2. Jakarta : EGC,.
- Guyton And Hall, J.E. (2016) 'Body Temperature Regulation, And Fever Normal Body Temperatures Body Core Temperature And Skin Temperature', In *Guyton And Hall Textbook Of Medical Physiology*.
- Guyton dan Hall. (2007). *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. [penyunt.] Hartanto, Novrianti, Wulandari Rachman. 11. Jakarta : EGC,.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. (1996) *Textbook of medical physiology*. Philadelphia: PA W.B. Saunders Company.
- Guyton, A.C. (2019)." *Text Book of Medical Physiology*". Edisi13. Misisipi: Department of Physiology and Biophysics University of Misisipi Medical.

- Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2006) "Textbook of medical physiology". 12nd edition. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
- Hall, J.E. And Guyton, A.C. (2006) 'Fisiologi Kedokteran', In Fisiologi Kedokteran, Pp. 891–892.
- Ian Peate, M. N. (2019) Anatomi dan fisiologi. Jakarta: Airlangga.
- Ignatavicius D. D. Workman M. L. Rebar C. R. & Heimgartner N. M. (2018). Medical-surgical nursing: concepts for interprofessional collaborative care (9th ed.). Elsevier.
- Immunity', Annual Review of Immunology, 35(1), pp. 31–52. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-immunol-041015-055354>.
- Irawati, L. (2012). "Fisika Medik Proses Pendengaran". Majalah Kedokteran Andalas, 36(2), 155-162.
- Irianto, K. (2004). Struktur dan Fungsi Tubuh Manusia untuk Paramedi. Bandung : Yrama Widya,.
- Irianto, K. (2012). "Anatomi dan Fisiologi". Bandung: Alfabeta. Kimball, J.W. (1983). Biologi Jilid 2. Jakarta: Erlangga.
- Ja, H. And Fg, B. (1918) 'A Biometric Study Of Human Basal Metabolism', Pubmed Central (Pmc), Pp. 370–373.
- James Li, M. (2021) To Continue Reading This Article, <https://emedicine.medscape.com/>.
- Jarvis, C. (2016). Physical examination and health assessment (7th ed). St. Louis: Saunders.
- Kalangi, J, R, S. (2013). Histofisiologi Kulit. Jurnal Biomedik (JBM) 5(3). S12-S20.
- Kent Van The Graaff. (2001). "Human Anatomy. Sixth edition", The McGraw-Hill Companies
- Kirnanoro, K. and Maryana, M. (2017) Anatomi fisiologi. Jogjakarta: Pustaka Baru press.
- Kornberg, H. (2023) 'Metabolism. Encyclopedia Britannica.', <https://www.britannica.com/science/metabolism>, (May), Pp. 19–20.

- Lara-Aparicio, S. et al (2021) 'Latest research on the anatomy and physiology of the cerebellum', 2(1), pp. 34–36. doi: DOI: 10.1016/j.neurop.2021.12.002.
- Lauralee Sherwood. (2012). "Fisiologi Manusia dari Sel ke Sistem" (Alih Bahasa). Jakarta: EGC.
- Levitzky, M. (2016). Pulmonary physiology. Function and Structure of the Respiratory System | Basicmedical Key
- Lewis, S.M., Williams, A. and Eisenbarth, S.C. (2019) 'Structure and function
- Liao, S. and von der Weid, P.Y. (2015) 'Lymphatic system: An active
- Liz, Wheeler. (2000). Tubuh Manusia. Jakarta : PT Balai Pustaka,.
- Louveau, A. et al. (2016) 'Correction: Corrigendum: Structural and functional
- Luginbuehl, I. And Bissonnette, B. (2009) Thermal Regulation, Sciencedirect. Available At: <https://doi.org/10.1016/B978-141603134-5.50029-9>.
- Marieb, E. (2001) Human Anatomy & Physiology. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Marieb, E.N. and Hoehn, K. (2013) Human anatomy & physiology. Pearson.
- Martini, FH et al. (2001) "Fundamentals of anatomy and physiology", 5 nd edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Mashudi, Sugeng. (2011). Anatomi dan Fisiologi Dasar. Jakarta : Salemba Medika,.
- Masliukov, P. M., Emanuilov, A. I., & Budnik, A. F. (2022). Sympathetic innervation of the development, maturity, and aging of the gastrointestinal tract. *The Anatomical Record*.
- McCance, K.L., & Huether, S.E. (2018). Pathophysiology-E-book: the biologic basis for disease in adults and children. Elsevier Health Sciences.
- Minett, P, dan Ginesi, L. (2020). Anatomy and Physiology AN INTRODUCTION FOR NURSING AND HEALTHCARE. Lantern Publishing Ltd. United Kingdom.
- Moore, J.E. and Bertram, C.D. (2018) 'Lymphatic System Flows', Annual
- Mortimer, P.S. and Rockson, S.G. (2014) 'New developments in clinical

- Nana. (2021). "Fisika Kesehatan,". Klaten: Penerbit Lakeisha.
- NEDU. (2021). *Anatomy & Physiology Made Easy: An Illustrated Study Guide for Students To Easily Learn Anatomy and Physiology*. NEDU LLC.
- Nezami, B. G., & Srinivasan, S. (2010). Enteric nervous system in the small intestine: pathophysiology and clinical implications. *Current gastroenterology reports*, 12, 358-365.
- Nicholson, L.B. (2016) 'The immune system', *Essays in Biochemistry*, 60(3),
- Nugroho, P. S. (2009). "Anatomi Dan Fisiologi Pendengaran Perifer". *Jurnal THT-KL*, 2(2), 76-85
- Nurhastuti and Iswari, M. (2018) *Anatomi Tubuh dan Sistem Persarafan Manusia*. Kuningan: goresan Pena. Kuningan: Goresan Pena.
- of the immune system in the spleen.', *Science immunology*, 4(33). Available at: <https://doi.org/10.1126/sciimmunol.aau6085>.
- Osilla, E. V, Marsidi, J.L. And Sharma, S. (2022) *Physiology , Temperature Regulation*, Statpearls Publishing.
- Padera, T.P., Meijer, E.F.J. and Munn, L.L. (2016) 'The Lymphatic System in
- Panji, P. (2015) *Pembagian Sistem saraf Pusat*. Available at: <https://www.edubio.info/2015/03/pembagian-sistem-saraf-pusat-manusia.html>.
- Paulsen, F and Waschke, J. (2011) *Sobotta Atlas of human anatomy: General anatomy and Musculoskeletal system*. 15th edn. Edited by J. Paulsen, F. and Waschke. Germany: Elsevier. Available at: [www.e-sobotta.com](http://www.e-sobotta.com).
- Pearce, E. (2008) "Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis". Jakarta : PT. Gramedia.
- Potter, P.A. Et Al. (2019) *Fundamentals Of Nursing Vol 1- 9th Indonesian Edition*. Edited by S. Ramdaniati Et Al. Elsevier Health Sciences.
- Prabowo, D.Y.B., Mediarti, D. and Hapipah (2022) *Ilmu keperawatan Medikal bedah Dan Gawat Darurat*. Edited by A. Munandar. Bandung: Penerbit Media Sains Indonesia.
- Price and Wilson. (2006). "Patofisiologi Konsep Klinis Proses-proses Penyakit". 2nd ed. Jakarta: EGC.

- Rachman, F., & Purnami, N. (2014). "Mekanoelektrik Transduksi Koklea". *Jurnal THT- KL*, 7(2), 92-103.
- Randolph, G.J. et al. (2017) 'The Lymphatic System: Integral Roles in
- Richard L. A., Wayne, V., dan Adam W. M. M. (2010) "Gray's Anatomy for Students". Second Edition. Canada: Churchill Livingstone Elsevier.
- Robert, C., Jhon P. H., dan Charles, R. N. (1992) "Human Anatomy". New York : McGraw-Hill, Inc.
- Ross and Wilson (2019) 'Anatomy and Physiology in Health and Illnes', Elsevier Health Ciencias, 10.
- Ross dan Wilson. (2011). *Dasar-dasar Anatomi dan Fisiologi*. [penerj.] Elly Nurachmah & Rida Angriani. Jakarta : Salemba Medika,.
- Rusbandi (2013) *Anatomi dan fisiologi Tubuh Manusia untuk para medis*. Jakarta: InMedia.
- S. Smelzer, B. Bare, J. Hinkle, K.C. (2010) *Brunner & Suddarth's textbook of medical-surgical nursing*. Twelfth Ed. Lippincott Williams & Wilkins.
- Sanders, T. & Scanlon, V.C. (2007) "Essential of anatomy and physiology." London: Churchill Livingstone
- Schillo, K. (2019). *Human Anatomy and Physiology From, Function, and Homeostasis*. Cognella, Inc. United States of America.
- Schunke, M., Schulte, E. and Schumacher, U. (2021) 'Atlas Anatomi Manusia', in. Jakarta: EGC.
- Sherwood, Lauralee. (2014.) *Fisiologi Manusia dari Sel ke Sistem*. Jakarta : EGC,.
- Sloane, E. (2014) "Anatomi dan Fisiologi untuk Pemula", Jakarta : EGC.
- Sloane, Ethel. (2003). *Anatomi dan Fisiologi untuk Pemula*. Jakarta : EGC,.
- Su, A., Parker, C. H., & Conklin, J. L. (2020). Esophageal anatomy and physiology. In *Clinical and Basic Neurogastroenterology and Motility* (pp. 79-88). Academic Press.
- Subiyanto, P. (2019) "Buku Ajar Asuhan Keperawatan Pada Pasien dengan Gangguan Sistem Endokrin". Yogyakarta: Pustaka Baru Press.

- Syaifuddin (2011) 'Anatomi Fisiologi Kurikulum Berbasis Kompetensi', in. Jakarta: EGC.
- Syaifuddin. (2006). Anatomi Fisiologi untuk Mahasiswa Keperawatan. Jakarta : EGC, 2006
- Syaifuddin. (2012) "Anatomi Fisiologi Untuk Keperawatan", Edisi 4, Jakarta : EGC.
- Syaifudin (2009) Anatomi Tubuh Manusia untuk mahasiswa keperawatan. 2nd edn. Jakarta,: Salemba Medika.
- Tabarean, I. Et Al. (2010) 'Hypothalamic And Dietary Control Of Temperature-Mediated Longevity', *Ageing Research Reviews*, 9(1), Pp. 41–50. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.arr.2009.07.004>.
- Tarwoto. (2012) "Keperawatan Medikal Bedah Gangguan Sistem Endokrin". Jakarta: Trans Info Media.
- Tortora, J, G, dan Derrickson, B. (2020). Principles of anatomy and physiology. Sixteenth edition. Jhon Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Valeria C. S., dan Tina, S. (2006) "Buku Ajar Anatomi & Fisiologi", Edisi ke-3, Jakarta : EGC.
- Valeria, C. S. dan Tina, S. (2006) "Buku Ajar Anatomi & Fisiologi", Edisi ke-3, Jakarta : EGC.
- Victor E. Del Bene (1990) 'Temperature', In *Clinical Methods: The History, Physical, And Laboratory Examinations*. 3rd Edn. Boston, Pp. 6–11.
- Wakim, S., & Grewal, M. (2023). Human biology. LibreTexts
- Watson, Roger. (2002). Anatomi dan Fisiologi untuk Perawat. Jakarta : EGC,.
- Waugh, A, dan Grant, A. (2011). Ross and Wilson Anatomy and physiology in Health and Illness. Tenth Edition. Elsevier (Singapore) Pte Ltd. Terjemahan Nurachmah, E, dan Angriani, R. 2011. Dasar-dasar Anatomi dan Fisiologi. Salemba Medika. Jakarta.
- Wibowo, Daniel S. (2006). "Anatomi Tubuh Manusia". Jakarta: Grasindo.
- Wikipedia (2023) Complete neuron cell diagram en.svg. Available at: [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Complete\\_neuron\\_cell\\_diagram\\_en.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Complete_neuron_cell_diagram_en.svg) (Accessed: 6 June 2023).

- 
- Wingerd, B. A. (1994) "The Human Body, Concepts of Anatomy and Physiology". Philadelphia WB. Saunders.
- Zairin, N. H. (2012) "Buku Ajar Gangguan Muskuloskeletal". Jakarta : Salemba Medika.



# Biodata Penulis



**Yohanes Gamayana Trimawang Aji** lahir di Jember pada tanggal 7 Januari 1988. Ia tercatat menyelesaikan pendidikan sarjana keperawatan dan profesi ners di Universitas Jember tahun 2011. Ia kemudian menyelesaikan pendidikan magister keperawatan dan spesialis keperawatan medikal bedah di Universitas Indonesia tahun 2017. Penulis saat ini bekerja sebagai dosen di Akademi Perawatan RS PGI Cikini Jakarta dan aktif melakukan kegiatan tridarma perguruan tinggi baik pengajaran, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.



**Dr. Mayer Derold Panjaitan, S.Kp., M.Kep,** lahir di Medan pada tanggal 27 Mei 1975, dari pasangan Herbert Panjaitan (Ayah) dan Naormin Gultom (Ibu). Menyelaskan studi Diploma III Keperawatan di Universitas Advent Indonesia Bandung, pada tahun 1997. Bekerja di Rumah Sakit Advent Bandarlampung sebagai perawat pelaksana dan sebagai perawat penanggungjawab di ruang perawatan medikal-bedah, ICU dan UGD sampai tahun 2008. Sambil bekerja di Rumah Sakit Advent Bandarlampung, menyelesaikan pendidikan S1 dan meraih gelar Sarjana Keperawatan dari Universitas Advent Indonesia Bandung pada tahun 2005. Kemudian bergabung dalam dunia pendidikan di Akademi Keperawatan Surya Nusantara Pematangsiantar, sebagai dosen pada tahun 2009-2021. Tahun 2015 mendapat kesempatan Tugas belajar melanjutkan pendidikan Magister Keperawatan di Universitas Muhammadiyah Jakarta, dan selesai pada tahun 2017. Bulan Februari 2022 sampai sekarang bekerja di rumah sakit Advent Medan, sebagai Ketua Komite Mutu dan Diklat. Bulan April 2022 sebagai staf pengajar di StiKes Horizon Karawang, Prodi Sarjana Keperawatan.

Pada Bulan Juli 2022 telah menyelesaikan studi Program S3 Teologi di STT Sumatera Utara. Selain mengajar, penulis juga aktif di organisasi PPNI.



**Cesarina Silaban, S.Kep.,Ns.,MSN** lahir 11 Oktober 1987 di Nagatimbul, Kab. Humbang Hasundutan. Sumatera Utara. Menyelesaikan pendidikan Ilmu Keperawatan S1 tahun 2009 & Profesi Ners tahun 2011 di Universitas Advent Indonesia (UNAI) Bandung , Master of Science in Nusing-Adult Health Nursing tahun 2015 di Adventist University of the Philippines (AUP) Filipina . Menjadi Dosen sekaligus Instruktur Klinis Akademi Keperawatan Surya Nusantara dari tahun

2015-sekarang, memiliki pengalaman bekerja sebagai perawat UGD di Rumah Sakit Columbia Asia Medan selama 2 tahun.

Email: [cesarina.silaban@suryanusantara.ac.id](mailto:cesarina.silaban@suryanusantara.ac.id)



**Diana Irawati** lahir di Kebumen, pada 10 Januari 1980. Penulis menyelesaikan pendidikan Spesialis Keperawatan Medikal Bedah di Universitas Indonesia tahun 2012. Penulis merupakan akademisi/dosen di Fakultas Ilmu Keperawatan, Universitas Muhammadiyah Jakarta sejak tahun 2006. Saat ini penulis merupakan reviewer soal uji kompetensi dan tim pengembang OSCE nasional perawat. Bidang kekhususan keperawatan medikal

bedah sistem perkemihan terutama pada kasus penyakit kronik dan hemodialisis.



**Nia Rosliany** Lahir di Tasikmalaya, pada tgl 16 Januari 1970. Pendidikan S1 dan S2 di Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas Indonesia, dengan mengambil jurusan spesialis Keperawatan Medikal Bedah. Ibu dari 2 orang anak yaitu Raihan Mahendra S dan Tanisa Zaskia S, dengan pengalaman kerja sebagai klinisi selama 6 tahun di RS Husada dan sekarang menjadi dosen di STIKES RS Husada sudah sekitar 25 tahun lebih. Dari awal mulai menjadi dosen sampai sekarang beliau mengajar di MK keperawatan

Medikal Bedah.



**Nurhayati Siagian., S.Kep., Ners., M.Kes., AIFO.** Lahir di Banjarmasin tanggal 26 Juli 1980. Ia menyelesaikan kuliah dan mendapat gelar Sarjana Keperawatan dari Universitas Padjadjaran pada tahun 2003. Pada tahun 2005 mengikuti Program Magister Ilmu Kedokteran Dasar Universitas Padjadjaran mengambil konsentrasi Ilmu Fisiologi dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2003 sampai sekarang menjadi Clinical Intractor dan Staf Pengajar pengampu mata kuliah Ilmu Biomedik Dasar di

Fakultas Ilmu Keperawatan Universitas Advent Indonesia, Bandung.



**Dr. Sharely Nursy Siringoringo, S.Kp., M.Kep.,** lahir di Bandung, tanggal 26 Agustus 1974, dari pasangan Oberlin Siringoringo (ayah) dan Bertha Simbolon (ibu). Menyelesaikan studi Diploma III Keperawatan di Universitas Advent Indonesia tahun 1996. Bekerja di Rumah Sakit Advent Bandarlampung sebagai perawat pelaksana dan perawat penanggungjawab di ruang perawatan anak dan medikal-bedah sejak tahun 1998-2009. Menyelesaikan pendidikan dan meraih gelar Sarjana Keperawatan di Universitas Advent Indonesia tahun

2005. Bergabung di Akper Surya Nusantara, Pematangsiantar, sebagai dosen

tahun 2009. Mendapat kesempatan melanjutkan pendidikan Magister Keperawatan di Universitas Muhammadiyah Jakarta, dan dengan pertolongan Tuhan Yang Maha Esa berhasil menyelesaikannya pada tahun 2017. Menyelesaikan program Doktoral Teologi pada bulan Juli tahun 2022. Sejak Februari 2022, bekerja di RS Advent Medan sebagai Infection Preventionist.



**Edi Supriadi** lahir di Bandung tanggal 05 November 1977. Saat ini bekerja sebagai dosen tetap dan Wakil Direktur III bidang kemahasiswaan di Akper RS. Dustira, merangkap sebagai TNI-AD dan perawat di Rawat inap RS. Dustira Cimahi serta sebagai Dosen tamu di Akfis RS. Dustira. Menyelesaikan pendidikan D3 Keperawatan di Akper RS. Dustira pada tahun 2005, melanjutkan S1 Keperawatan dan Ners di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKes) Jenderal Achmad Yani Cimahi pada tahun 2011 dan 2012, kemudian menyelesaikan pendidikan S2

Keperawatan di Universitas Padjadjaran Bandung konsentrasi Keperawatan Medikal Bedah pada tahun 2020. Matakuliah yang diampu adalah Keperawatan Medikal Bedah, Keperawatan Dasar, Pertolongan Darurat di Lapangan (Longdarlap), Etika dan Hukum Keperawatan, Metodologi Keperawatan, dan Pertolongan Pertama Gawat darurat (PPGD). Pengalaman berorganisasi di Persatuan Perawat Nasional Indonesia, dan Himpunan Perawat Medikal Bedah (HIPMEBI) Jawa Barat. Pendidikan non-formal yang pernah diikuti dalam bentuk seminar, pelatihan, dan workshop dalam bidang KMB, KGD dan Kritis, Pendidikan dan Pembelajaran (Item development, review, dan analysis), dan Etik Penelitian. Pengalaman tugas baik di dalam dan luar negeri yaitu ke Aceh, Maluku, Maluku utara, dan mewakili Indonesia mengikuti kegiatan Cobra Gold ke Thailand sebagai tim Medevac, serta pernah menjadi TKHI pada tahun 2013.



**Arlien Jeannete Manoppo** lahir di Airmadidi, 01 Agustus 1973. Saat ini tinggal di Minahasa Utara – Sulawesi Utara dan bekerja sebagai dosen Fakultas Keperawatan di Universitas Klabat dari tahun 2008 hingga sekarang. Penulis menyelesaikan Pendidikan Profesi Ners di UNAI Bandung pada tahun 2009 dan Pendidikan Magister Keperawatan di STIK Sint Carolus Jakarta pada tahun 2016. Sebelum bergabung di dunia pendidikan, penulis juga memiliki pengalaman bekerja di rumah sakit selama 10 tahun di unit rawat inap medikal-bedah dan unit rawat jalan.

Di dunia pendidikan, penulis menjadi pengampu Mata Kuliah Keperawatan Medikal Bedah, Keselamatan Pasien dan Kesehatan Kerja, serta Komunikasi dalam Keperawatan. Penulis juga aktif dalam publikasi karya ilmiah di bidang keperawatan dan menjadi nara sumber dalam beberapa seminar kesehatan. Selain aktif dalam menjalankan tri dharma pendidikan tinggi, penulis juga memiliki hobi berkebun.



**Nining Indrawati.** Saat ini adalah dosen tetap Program Studi Pendidikan Profesi Ners di STIKES Bethesda Yakkum Yogyakarta. Riwayat pendidikan adalah lulusan S1 dan profesi dari PSIK FK UGM, sedangkan S2 dan profesi ditempuh di FK UI.

Mengampu mata kuliah Manajemen Patient Safety, Keperawatan Medikal Bedah I dan II, Keperawatan Dewasa Sistem Kardiovaskuler, Respirasi dan Hematologi, Keperawatan Dewasa Sistem Endokrin, Imunologi, Pencernaan dan Perkemihan. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa, juga dalam Tridharma Pendidikan Tinggi.

E-mail: [nining@stikesbethesda.ac.id](mailto:nining@stikesbethesda.ac.id)



**Dhea Natashia** lahir di Jakarta, pada 13 Juni 1989. Penulis menyelesaikan pendidikan doktoral di National Cheng Kung Univesity, Taiwan pada tahun 2021. Penulis juga berpengalaman sebagai post-doctoral reserach fellow di Department of Nursing, National Cheng Kung University Taiwan dari tahun 2021 s.d 2022. Penulis merupakan akademisi/dosen di Fakultas Ilmu Keperawatan, Universitas Muhammadiyah Jakarta sejak tahun 2011. Bidang penelitian utama meliputi manajemen penyakit kronis termasuk kepatuhan, manajemen diri dan pengelolaan gaya hidup, serta kualitas hidup pada pasien dengan penyakit kronis. Saat ini penulis termasuk kedalam keanggotaan Sigma Theta Tau International Lambda Beta At large Chapter.



**Cicielia Ernawati Rahayu** lahir di Klaten Jawa Tengah, pada 21 November 1964. Lulusan STIK St Carolus Jakarta Wanita yang kerap disapa Ciciel ini adalah anak dari pasangan Soerurihadi (ayah) dan Veronica Sutini (ibu). Ciciel aktif dalam organisasi profesi sebagai ketua BAPENA DPW PPNI DKI Jakarta. saat ini bekerja sebagai Waket I Bidang Akademik di STIKes Sumber Waras Jakarta



**Sulastri, SKp, M. Kep.** saat ini adalah dosen Keperawatan Medikal Bedah, Keperawatan Gawat Darurat, Anatomi Fisiologi dan Dokumentasi Keperawatan di Akademi keperawatan Yaspem Jakarta. Beliau sudah memiliki sertifikat dosen dan jabatan fungsional lektor. Minat penelitiannya terkait keperawatan endokrin, kardiovaskuler dan keperawatan gawat darurat. Pendidikan terakhir beliau adalah Magister Keperawatan Universitas Indonesia dengan konsentrasi keperawatan medikal bedah tahun 2013. Beliau telah menulis beberapa buku berISBN yang berjudul buku Pintar

Perawatan Diabetes Melitus (Aplikasi, SDKI, SLKI dan SIKI), Dokumentasi Proses Keperawatan dan beberapa publikasi jurnal terakreditasi SINTA. Beliau juga telah menerbitkan beberapa karya berupa buku, booklet, poster, dan artikel hasil penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Saat ini beliau merupakan salah satu pengurus DPK PPNI Urindo dan Hipmebi DKI Jakarta.



**R Ade Sukarna** Lahir di Belitung, pada 16 Desember 1975. Ia tercatat sebagai lulusan Fakultas Ilmu Keperawatan UI. Pria yang kerap disapa pak Ade ini adalah anak dari pasangan R Basar Anwar T. (ayah) dan Hamimah (ibu).





# Dasar-Dasar Ilmu Biomedik Struktur Dan Fungsi

Buku “Dasar-Dasar Ilmu Biomedik: Struktur dan Fungsi” sangat direkomendasikan untuk dibaca khususnya bagi dosen, mahasiswa/i, dan praktisi kesehatan, karena di dalamnya dikupas secara tuntas dan menggunakan bahasa serta gambar yang mudah dipahami.

Adapun beberapa topik yang dibahas dalam buku ini tentang:

- Bab 1 Dasar - Dasar Anatomi Tubuh Manusia
- Bab 2 Struktur, Fungsi Sel, Jaringan, dan Sistem Tubuh Manusia
- Bab 3 Prinsip-Prinsip Fisika Kesehatan Dalam Keperawatan
- Bab 4 Struktur dan Fungsi Sistem Integumen
- Bab 5 Struktur dan Fungsi Sistem Muskuloskeletal
- Bab 6 Struktur dan Fungsi Sistem Sensori
- Bab 7 Struktur dan Fungsi Sistem Endokrin
- Bab 8 Struktur dan Fungsi Sistem Kardiovaskuler
- Bab 9 Fungsi Sistem Limfatik Serta Kekebalan Tubuh
- Bab 10 Struktur dan Fungsi Sistem Pernapasan
- Bab 11 Struktur dan Fungsi Sistem Pencernaan
- Bab 12 Struktur dan Fungsi Sistem Perkemihan
- Bab 13 Struktur dan Fungsi Sistem Persarafan
- Bab 14 Metabolisme dan Pengaturan Suhu Tubuh



YAYASAN KITA MENULIS  
press@kitamenulis.id  
www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-342-881-1



9 786233 428811