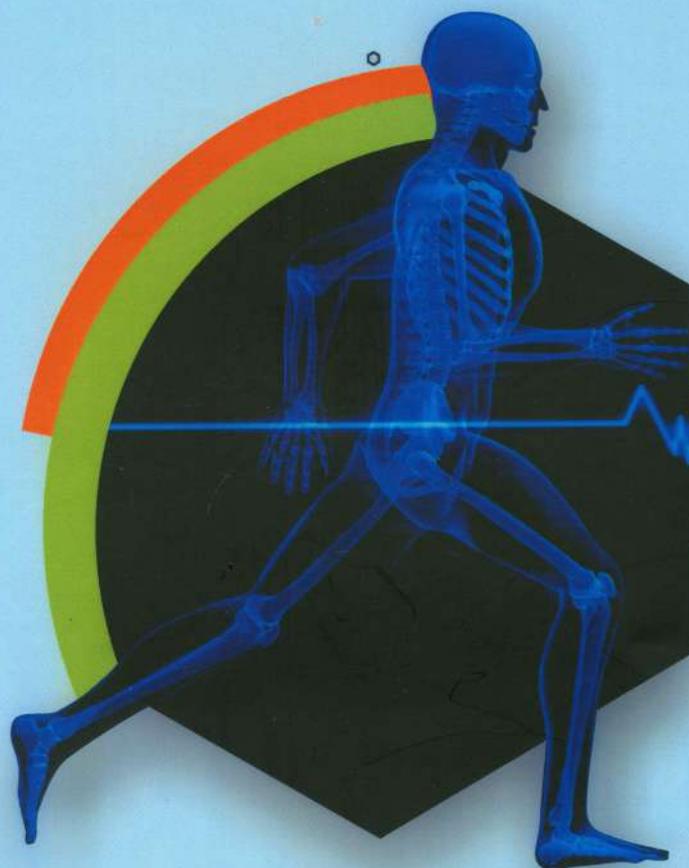


Editor Dr. Abdurachman



# *Indahnya Seirama*

*Kinesiologi Dalam Anatomi*

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

## INDAHNYA SEIRAMA Kinesiologi dalam Anatomi

Penulis:

Dr. Abdurachman, dr., M.Kes., PA(K), Acupuncturist  
Dion Krismashogi D., dr.  
Irmawan Farindra, dr.  
Etha Rambung, dr

Editor:

Dr. Abdurachman, dr., M.Kes., PA(K), Acupuncturist

ISBN: 978-602-6874-58-0

Copyright © Maret, 2017

Ukuran: 15,5cm X23cm; Hal: xviii + 258

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak dalam bentuk apapun tanpa ijin tertulis dari pihak penerbit.

Cover: Dino Sanggrha Irnanda

Lay Out: Kamilia Sukmawati

Cetakan I, 2016

Diterbitkan pertama kali oleh *Inteligensia Media*  
Jl. Joyosuko Metro IV/No 42 B, Malang, Indonesia  
Telp./Fax. 0341-588010  
Email: [intelegensiamedia@gmail.com](mailto:intelegensiamedia@gmail.com)

Didistribusikan oleh CV. Cita Intrans Selaras  
Wisma Kalimetro, Jl. Joyosuko Metro 42 Malang  
Telp. 0341-573650  
Email: [intrans\\_malang@yahoo.com](mailto:intrans_malang@yahoo.com)

## Pengantar Editor ...

*Alhamdulillah, shalawat, dan salam kepada Muhammad Rasulullah.*

Hidup adalah gerak, *Live is moving*. Gerak merupakan suatu yang esensial dalam hidup. Pergerakan dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Bergerak bisa benar, bisa keliru. Bergerak bisa efektif atau sebaliknya. Untuk dapat memahami pergerakan yang efektif, terhindar dari pemborosan, terhindar dari gerakan yang keliru sehingga menimbulkan sakit, maka diperlukan kinesiologi. Kinesiologi adalah salah satu cabang Anatomi yang membahas tubuh berkaitan dengan gerak.

Mengingat masih langkanya sumber pustaka kinesiologi terutama yang berbahasa Indonesia, terlebih lagi sebagai sumber pustaka yang mudah, terutama bagi mahasiswa S1, S2, bahkan S3 ilmu kedokteran, maka buku ini disusun. Selebihnya, karena setiap individu hidup harus bergerak, maka buku ini pun sangat diperlukan masyarakat umum, terlebih yang berprofesi banyak berkaitan dengan gerak, seperti

# Indahnya Seirama



Keseimbangan, keteraturan, harmonis, melambangkan kenyamanan. Suasana demikian, bagi tubuh adalah suasana sehat. Tubuh manusia diciptakan Tuhan terdiri dari sepasang kinerja. Sebut saja sistem saraf. Ada sistem saraf somatis, ada sistem saraf otonom. Saraf otonom memiliki komponen simpatis dan para simpatis. Pada sistem otot, ada otot-otot yang memiliki fungsi fleksi, ada yang berfungsi ekstensi. Sepasang sistem ini memerlukan keseimbangan, keteraturan, dan keharmonisan untuk mencapai kondisi sehat dan nyaman.

Untuk dapat mencapai kondisi tersebut, wajar jika diperlukan pengetahuan tentang itu. Kinesiologi merupakan ilmu pengetahuan yang antara lain membahas peran otot dan system perangkat gerak lain, demi mencapai kondisi sehat dan nyaman bagi tubuh. Kondisi nyaman yang optimal, tidak hanya mendukung tubuh sehat, tetapi juga indah. Untuk itu buku ini diberi judul *Indahnya Seirama*.



# INDAHNYA SEIRAMA

KINESIOLOGI DALAM ANATOMI

Editor:

Dr. Abdurachman, dr., M.Kes, PA (K)

OLEH :

Dr. Abdurachman, dr., M.Kes, PA (K)

Dion Krismashogi D., dr.

Irmawan Farindra, dr.

Etha Rambung, dr.

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Sampul</b> .....	<b>i</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>ii</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>vi</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>xi</b>
<b>Bab I. Pendahuluan</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Visi, Misi, dan Tujuan .....	4
I.2.1. Visi .....	4
I.2.2. Misi.....	4
I.2.3. Tujuan.....	4
<b>Bab II. Konsep Sehat–Sakit</b> .....	<b>5</b>
II.1. Definisi Sehat-Sakit .....	5
II.1.1. Definisi sehat .....	5
II.1.2. Definisi Sakit.....	6
II.1.2.1. Fase-fase Sakit.....	7
II.1.2.2. Tahapan Sakit .....	7
II.1.2.3. Rentang Sehat–Sakit.....	8
II.1.2.4. Hubungan Sehat–Sakit .....	9
II.2. Kriteria Sehat-Sakit.....	11
II.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kesehatan.....	11
<b>BAB III. Keseimbangan dalam Tubuh Manusia</b> .....	<b>17</b>
III.1. Penerapan Hukum Newton, Momentum, Keseimbangan-stabilitas, dan Energi.....	17
III.1.1. Penerapan Hukum Newton .....	17
III.1.2. Momentum dan Momen Gaya .....	20
III.1.3. Keseimbangan.....	21
III.1.4. Usaha dan Energi .....	30
III.1.4.1. Usaha .....	30
III.1.4.2. Energi .....	31
III.2. Depolarisasi dan Repolarisasi .....	31
III.2.1. Pengertian Depolarisasi dan Repolarisasi.....	31
III.2.2. Keseimbangan Depolarisasi dan Repolarisasi .....	33

III.3. Simpatis dan Parasimpatis .....	33
III.3.1. Pengertian Sistem Saraf Simpatis dan Parasimpatis .....	33
III.3.2. Anatomi Sistem Saraf Simpatis.....	34
III.3.2. Anatomi Sistem Saraf Parasimpatis .....	34
III.3.3. Efek Perangsangan Simpatis dan Parasimpatis pada Organ Spesifik .....	35
III.3.4. Efek Perangsangan Simpatis dan Parasimpatis terhadap Tekanan Arteri...	36
III.3.5. Efek Perangsangan Simpatis dan Parasimpatis terhadap Fungsi Tubuh Lainnya .....	37
III.3.6. Keseimbangan Simpatis Dan Parasimpatis .....	37
III.4. Otot Agonis-antagonis.....	37
<b>BAB IV. Otot Rangka.....</b>	<b>41</b>
IV.1. Anatomi dan Histologi .....	41
IV.1.1. Penggolongan jaringan otot.....	41
IV.1.2. Jaringan Otot Rangka .....	42
IV.1.3. Pembentukan Otot Rangka.....	42
IV.1.4. Jaringan Ikat Pada Otot Rangka .....	43
IV.1.5. Penampakan Mikroskopis Serat Otot.....	43
IV.1.6. Protein Pada Otot Rangka .....	45
IV.1.7. Warna Otot .....	47
IV.1.8. Regenerasi Sel Otot.....	49
IV.2. Fisiologi Otot.....	49
IV.2.1. Pengaturan Kontraksi Otot .....	49
IV.2.2. Mekanisme Kontraksi Otot .....	51
IV.2.3. Tipe Kontraksi Otot.....	53
IV. 3. Tipe Otot .....	57
<b>Bab V. Kinesiologi: Kinematika .....</b>	<b>61</b>
V.1. Definisi Kinesiologi, Kinetika Dan Kinematika.....	61
V.2. Terminologi .....	62
V.2.1. Bidang Gerak Dan Sumbu Gerak .....	62
V.2.2. Gerakan Tubuh .....	63
V.2.3 Tonus Otot.....	67
V.2.4. Kekuatan Otot (Strength) .....	67
V.2.5. Torsi ( <i>Torque</i> ) .....	68

V.2.6. Jenis Kontraksi Otot .....	68
V.2.7. Enduransi Otot .....	69
V.2.8. Kelelahan Otot.....	69
V.2.9. Kerja Berlebihan ( <i>Overwork</i> ) .....	70
V.2.10. Rentang Kerja Otot .....	70
V.2.11. Aktif Insufisiensi .....	70
V.2.12. <i>Range Of Movement</i> (Rom) .....	70
V.3. <i>Osteokinematic</i> .....	72
V.3.1. Definisi .....	72
V.3.2. Jenis Gerak .....	72
V.3.3. Dampak Gerak <i>Translatory</i> Dan <i>Rotary</i> .....	73
V. 3.4. Derajat Kebebasan Gerakan Sendi .....	74
V. 3.5. Goniometri Klinis.....	77
V. 3.6. Rantai Kinematik .....	79
V.4. <i>Arthrokinematics</i> .....	81
V.4.1. Definisi .....	81
V.4.2. Struktur Sendi.....	81
<b>Bab VI. Otot-Otot dalam Persendian.....</b>	<b>84</b>
VI.1. Otot Fleksi dan Extensi dalam Persendian .....	84
VI.2. Otot Abduksi dan Adduksi dalam Persendian.....	97
VI.3. Otot-Otot Eksorotasi Dan Endorotasi Dalam Persendian .....	107
<b>BAB VII. Pemeriksaan Tanda-Tanda Vital .....</b>	<b>114</b>
VII.1. Tekanan Darah .....	114
VII.1.1. Definisi.....	114
VII.1.2. Fisiologi .....	114
VII.1.3. Regulasi Tekanan Darah .....	115
VII.1.4. Klasifikasi Tekanan Darah.....	117
VII.1.5. Pengukuran Tekanan Darah.....	117
VII.1.6. Faktor-faktor yang Dapat Mempengaruhi Peningkatan Tekanan Darah .	119
VII.2. Denyut Nadi .....	121
VII.2.1. Pengertian Denyut Nadi .....	121
VII.2.2. Faktor Yang Mempengaruhi Frekuensi Denyut Nadi.....	122
VII.2.3. Tempat-tempat dan Cara Mengukur Denyut Nadi .....	124

VII.2.4. Hal-hal yang dinilai saat Pemeriksaan Denyut Nadi .....	125
VII.3. Frekuensi Pernapasan (Respiration Rate) .....	126
VII.3.1. Definisi .....	126
VII.3.2. Struktur Sistem Respirasi : Paru, Jalan Napas dan Ruang Rugi.....	126
VII.3.3. Mekanisme Pernafasan .....	127
VII.3.4. Pengaturan Pernapasan .....	128
VII.3.6. Pemeriksaan Pernafasan .....	131
<b>Bab VIII. Pemeriksaan Otot .....</b>	<b>133</b>
VIII.1. Pengukuran Kekuatan Otot.....	133
VIII.1.1. Secara umum .....	133
VIII.1.2. Pemeriksaan Khusus pada Anak .....	154
VIII.2. Elektromiografi.....	156
VIII.2.1. Definisi .....	156
VIII.2.2. Dasar Pemeriksaan EMG .....	157
VIII.2.3. Analisa Hasil EMG .....	162
VIII. 3. <i>Surface</i> Elektromiografi (sEMG) .....	174
<b>BAB IX. Hubungan Tanda Vital Dengan Kontraksi Otot.....</b>	<b>179</b>
IX.1. Pengaruh “ <i>Central Command</i> ” .....	179
IX.2. Pengaruh <i>Tension Headache</i> .....	186
IX.3. Pengaruh <i>Muscle-Tendon Unit</i> dan Lesi <i>Upper Motor Neuron</i> terhadap Tonus Otot.....	197
IX.4. Pengaturan Pernapasan Selama Latihan Fisik.....	199
IX.5. Hubungan Timbal Balik Antara Faktor Kimiawi Dan Faktor Saraf Dalam Mengendalikan Pernapasan Selama Latihan Fisik.....	200
IX.6. Pengendalian Neurogenik Terhadap Ventilasi Selama Kerja .....	203
VII.3.1. Definisi .....	126
VII.3.2. Struktur Sistem Respirasi : Paru, Jalan Napas dan Ruang Rugi.....	126
VII.3.3. Mekanisme Pernafasan .....	127
VII.3.4. Pengaturan Pernapasan .....	128
VII.3.6. Pemeriksaan Pernafasan .....	131

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kondisi Seimbang (Equilibrium) = sehat .....	9
Gambar 2.2. Kondisi Tidak Seimbang = sakit .....	9
Gambar 2.3. <i>The Health Field Concept Model</i> .....	10
Gambar 2.4. <i>The Enviroment of Health Model</i> .....	10
Gambar 2.5. Hubungan Sehat – Sakit .....	10
Gambar 3.1. Arah gaya aksi dan reaksi dalam kesetimbangan.....	20
Gambar 3.2. Proses Fisiologi Terjadinya Keseimbangan .....	23
Gambar 3.3. Sistem Vestibular .....	24
Gambar 3.4. Sistem Visual .....	25
Gambar 3.5. Sistem Somatosensori .....	26
Gambar 3.6. <i>Line of Gravity</i> .....	28
Gambar 3.7. Potensial membrane .....	32
Gambar 3.8. Sistem Saraf Otonom .....	35
Gambar 3.9. Berbagai kerja otot. A. <i>Musculus quadriceps femoris</i> mengekstensikan sendi lutut sebagai otot penggerak utama dan <i>musculus biceps femoris</i> sebagai otot antagonis. B. <i>Musculus biceps femoris</i> memfleksikan sendi lutut sebagai otot penggerak utama dan <i>musculus quadriceps femoris</i> sebagai otot antagonis.....	38
Gambar 4.1. Serabut Otot .....	41
Gambar 4.2. Miofilamen.....	45
Gambar 4.3. Kontraksi twitch.....	53
Gambar 4.4. Tipe kontraksi otot .....	54
Gambar 4.5. Kontraksi isotonik dan isometrik .....	56
Gambar 4.6. Jenis bentuk otot.....	58
Gambar 4.7. Gerakan Agonis dan Antagonis, perbandingan aktifitas EMG pada otot biceps dan trisep selama gerakan fleksi dan ekstensi siku dengan perubahan posisi badan dan tahanan yang diberikan. A) Pasien duduk dengan tahanan ditangan; B) Pasien tidur dengan tahanan di tangan; C) Pasien tidur dengan tahanan manual selama aktifitas konsentrik otot. Tri = triceps, B-B = Biceps brachii dan brachialis.....	59
Gambar 4.8. Gerakan Sinergis, Sinergi dari aktifitas biceps dan triceps selama gerakan lengan. Perekaman EMG dilakukan saat pasien duduk, lengan bawah difleksikan	

90 derajat, dan siku di tahan. Kontraksi isometric saat memulai supinasi lengan bawah membutuhkan aktifitas sinergis dari triceps untuk menjaga biceps agar tetap flexi pada siku .....	60
Gambar 5.1. Bidang gerak utama dan sumbu tubuh dalam posisi anatomi .....	62
Gambar 5.2. Tipe gerakan sendi .....	64
Gambar 5.2. Tipe gerakan sendi (Lanjutan) .....	65
Gambar 5.3. Posisi kontraksi isometrik dan torsionya .....	68
Gambar 5.4. Range of motion dari humerus.....	69
Gambar 5.5. Gerak pada sendi digambarkan sebagai gerakan sudut.Perhatikan perbedaan jarak yang ditempuh di berbagai titik disegmen tubuh.....	74
Gambar 5.6. Struktur sendi: <i>diarthrodial (synovial); hinge, condyloid, ellipsoidal, saddle, pivot, dan ball and socket</i> .....	75
Gambar 5.7. Aplikasi goniometer untuk mengukur posisi siku pada bidang sagital. Lengan stasioner goniometer sejajar dengan sumbu panjang lengan subjek. Lengan bergerak dari goniometer sejajar dengan sumbu panjang lengan bawah, dan sumbu atau titik tumpu dari goniometer yang ditempatkan di atas sumbu sendi siku.....	77
Gambar 5.8. A. Ketika pemain mengayun untuk menendang bola, segmen distal dari ekstremitas atas bergerak bebas (rantai kinematik terbuka), ujung distal dari ekstremitas bawah juga dalam rantai terbuka, sedangkan ujung distal dari ekstremitasbawah kiri adalah dalam sikap tetap (rantai kinematik tertutup). B. Saat melakukan push-up, segmen distal ekstremitas atas dan bawah adalah tetap (rantai kinematik tertutup) .....	80
Gambar 5.9. Struktur sendi: <i>synarthrodial dan amphiarthrodial</i> .....	83
Gambar 7.1 Sistem Baroreseptor untuk Mengendalikan Tekanan Arteri.....	116
Gambar 7.2 Cara Auskultasi untuk Mengukur Tekanan Arteri Sistolik dan Diastolik .....	119
Gambar 7.3. Susunan Pusat Pernapasan .....	128
Gambar 7.4. Pengendalian Pernapasan oleh Kemoreseptor Perifer di dalam Badan Karotis dan Badan Aorta .....	130
Gambar 8.1. A. Goniometer. B. <i>Tape measure</i> . C. OB goniometer beserta <i>Velcro straps</i> dan <i>plastic extension plates</i> . D. <i>CROM instrument</i> dan <i>magnetic yoke</i> .....	142
Gambar 8.2. A. Pengukuran start position PROM menggunakan geniometer dan B. end position PROM .....	147

Gambar 8.3. A. Pengukuran OB geniometer endorotasi tibia pada start position dan B. end position.....	148
Gambar 8.4. Metode pencatatan menggunakan <i>numeric recording form</i> .....	148
Gambar 8.5. Metode pencatatan <i>pictorial recording form</i> .....	149
Gambar 8.6. <i>Hand-held dynamomete</i> .....	150
Gambar 8.7. <i>Hand grip dynamometer</i> .....	150
Gambar 8.8. Pemeriksaan <i>lateral pinch</i> .....	151
Gambar 8.9. Pemeriksaan tip pinch .....	151
Gambar 8.10. Pemeriksaan <i>Three Jaw Chuck</i> .....	151
Gambar 8.11. <i>NK-Table</i> .....	152
Gambar 8.12. <i>EN-Tree</i> .....	152
Gambar 8.13. <i>Chest press</i> (kiri) dan <i>Incline press</i> (kanan) .....	153
Gambar 8.14. <i>Abdominal</i> (kiri), <i>back extension</i> (tengah) dan <i>torso rotation</i> (kanan) .....	153
Gambar 8.15. <i>Leg Press</i> (kiri), <i>Leg Extension</i> (tengah), dan <i>Glute</i> (kanan).....	153
Gambar 8.16. Gambaran EMG normal dalam keadaan istirahat ( <i>electrical silence</i> ) .....	159
Gambar 8.17. Gambaran EMG <i>sharp wave</i> positif.....	159
Gambar 8.18. Gambaran EMG: A. Fasikulasi dan B. Fibrilasi .....	160
Gambar 8.19 Gambaran EMG <i>Insertional activity</i> .....	160
Gambar 8.20. Innervasi otot .....	162
Gambar 8.21. <i>End-plate noise</i> .....	164
Gambar 8.22. <i>End plate spikes</i> .....	164
Gambar 8.23. <i>Positive sharp wave</i> .....	165
Gambar 8.24. <i>Fibrilasi</i> .....	166
Gambar 8.25. <i>Complex repetitive discharge</i> .....	168
Gambar 8.26. <i>Myotonic discharge</i> .....	168
Gambar 8.27. <i>Myokymic discharge</i> .....	169
Gambar 8.28. <i>Neuromyotonic Discharge</i> .....	170
Gambar 8.29. <i>Model MUAP</i> .....	171
Gambar 8.30. <i>Durasi MUAP</i> .....	172
Gambar 8.31. <i>Evaluasi Motor Unit: Biopsi Elektrofisiologis. Skematik menunjukkan area yang direkam dalam bentuk konsentrik (A) dan monopolar (B) elektrode jarum</i> .....	173

Gambar 8.32. A. *Sapuan Superimposed* dari MUAP normal menunjukkan stabilitas. B & C. menunjukkan 4 dan 10 *superimposed sweeps*, berurutan, dari sebuah proses neurogenik kronis yang menunjukkan ketidakstabilan. D. menunjukkan 2 contoh *sweeps* dari MUAP yang sama pada reinervasi awal tanpa pemicu. Tampak serupa pada permukaan, namun, potensial pada *sweep* kedua jelas lebih pendek dalam durasi sebagai hasil dari ketidakstabilan (contoh, *drop out* atau blok dari beberapa komponen *spike*). E. menunjukkan peningkatan instabilitas atau *jitter*, sebagian pada bentuk tajam di sebelah kiri. F. menunjukkan peningkatan ketidakstabilan dengan hambatan ..... 174

Gambar 8.33. Rekaman sEMG Wireless pada anak berusia 5 tahun. Gambar di sebelah kiri menunjukkan elektroda dan kasus self-powered, masing-masing dilengkapi dengan preamplifier dan antena untuk transmisi sinyal mioelektrik independen. Jejak di sisi kanan adalah contoh ilustrasi rekaman EMG selama tugas jinjit kaki dari tibialis anterior (TA), soleus (SOL), gastrocnemius medialis (GAM), dan lateralis gastrocnemius (GAL) ..... 177

Gambar 9.1. Kontrol kardiovaskuler sistem selama latihan. Ada dua jalur impuls, yaitu yang turun dari motor region di cerebrum (*central command*) dan impuls yang ke atas dari *muscle receptors* (*ergoreceptors command*) yang akan menuju ke kardiovaskuler area (*Cardiovascular center/CVC*) di medulla. Yang kemudian menghasilkan penurunan aktivitas parasimpatis ke jantung dan meningkatnya aktivitas simpatis ke jantung, pembuluh darah, dan medulla adrenalis. Dan akhirnya akan meningkatkan cardiac output dan meningkatkan tekanan darah. Kombinasi dari peningkatan keduanya disebut sebagai "*exercise pressor reflex*" ..... 180

Gambar 9.2. Respon *Heart rate* (A), *Systolic blood pressure* (B), dan *Diastolic blood pressure* (C) terhadap kontraksi *static exercise voluntary* dan kontraksi *electrical-induced* ..... 181

Gambar 9.3. Kontrol sistem ventilasi selama latihan. *Respiratory center* menerima impuls dari motor region di otak, dari *central chemoreceptor* yang sensitif terhadap perubahan ion H<sup>+</sup> dan menerima impuls dari reseptor spesial, termasuk paru-paru, reseptor jalan napas, reseptor CO<sub>2</sub> paru, reseptor di otot-otot intercostalis dan diaphragma, *metabo-mechanoreceptors* di otot-otot yang aktif dan kemoreseptor perifer. Kesemuanya ini akan pmenghasilkan penurunan aktivitas

Parasimpatis di <i>bronchioles</i> dan meningkatkan impuls ke diaphragma dan otot intercostalis melalui <i>n. phrenicus</i> dan <i>n. intercostalis</i> . Yang akhirnya akan menyebabkan <i>exercise induced hyperpnea</i> , peningkatan frekuensi dan dalamnya napas dan regulasi PO <sub>2</sub> , PCO <sub>2</sub> , serta pH.....	183
Gambar 9.4. Otot leher yang membantu ekstensi kepala dan terletak relatif dalam: <i>m. semispinalis capitis</i> dan <i>m. longissimus capitis</i> .....	187
Gambar 9.5. Otot leher yang membantu ekstensi kepala dan terletak relatif dalam: <i>m. splenius capitis</i> .....	187
Gambar 9.6. Sistem pengungkit didaerah leher. (Supaya kepala dalam posisi tegak, otot kulit kepala dan leher bagian belakang sudah dengan ketegangan otot tertentu setiap saat, karena harus menyangga rangka muka) .....	188
Gambar 9.7. Busur refleks segmen sumsum tulang belakang (Busur refleks ini terlibat dalam semua aktivitas otot rangka, sebagian melibatkan juga pusat-pusat otak yang lebih tinggi, seperti dalam refleks peregangan otot rangka).....	189
Gambar 9.8. Kumpulan otot (Ketegangan otot tergantung dari refleks peregangan yang ditimbulkan oleh kumpulan otot yang memonitor panjang otot) .....	191
Gambar 9.9. Sirkuit neural untuk emosi dari Papez (Menghubungkan area-area asosiasi dari korteks otak dengan hipotalamus, sehingga fungsi kognitif dapat mempengaruhi emosi dan konsekuensi viseralnya) .....	193
Gambar 9.10. Organisasi neural pada respon terhadap stres .....	195
Gambar 9.11. Pengaruh latihan pada konsumsi oksigen dan tingkat ventilasi.....	199
Gambar 9.12. Perubahan ventilasi alveolar (kurva bawah) dan PCO <sub>2</sub> arteri (kurva atas) selama periode kerja/latihan 1 menit dan juga setelah penghentian latihan.....	201
Gambar 9.13. Perkiraan efek yang terjadi pada seorang atlet yang melakukan kerja maksimum untuk menggeser kurva respons ventilasi-PCO <sub>2</sub> alveolus hingga mencapai nilai yang jauh lebih tinggi daripada nilai normal. Pergeseran ini diyakini disebabkan oleh faktor neurogenik, yang hampir sama persis dengan jumlah yang tepat untuk mempertahankan PCO <sub>2</sub> arteri pada nilai normalnya 40 mmHg, pada keadaan istirahat maupun kerja berat.....	202

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Tipe Serat Otot .....	48
Tabel 4.2. Istilah yang digunakan untuk menamai setiap otot .....	57
Tabel 5.1. Klasifikasi Sendi Berdasarkan Struktur dan Fungsinya .....	76
Tabel 5.2. Ringkasan Rentang Gerak Sendi .....	78
Tabel 6.1. Jenis otot fleksi dan ekstensi di kepala dan leher .....	84
Tabel 6.2. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi bahu .....	86
Tabel 6.3. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi siku .....	86
Tabel 6.4. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi pergelangan tangan .....	87
Tabel 6.5. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>metacarpophalangeal and thumb joint</i> .....	88
Tabel 6.6. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>carpometacarpal joint of hand</i> .....	88
Tabel 6.7. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>interphalangeal joint of hand</i> .....	89
Tabel 6.8. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>trunkus</i> dan vertebra .....	90
Tabel 6.9. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi panggul .....	91
Tabel 9.10. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi lutut.....	93
Tabel 9.11. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>ankle joint</i> .....	94
Tabel 9.12. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>metatarsophalangeal joint</i> .....	95
Tabel 9.13. Jenis otot fleksi dan ekstensi di <i>interphalangeal joint of foot</i> .....	96
Tabel 9.14. Otot-otot eksorotasi dan endorotasi dalam persendian .....	107
Tabel 7.1. Klasifikasi Tekanan Darah Menurut JNC VII .....	117
Tabel 7.2. Klasifikasi IMT (WHO, Western Asia Pasifik) .....	120
Tabel 7.3. Frekuensi Nadi berdasarkan usia .....	122
Tabel 8.1. Ringkasan assesmen pengukuran kekuatan otot.....	134
Tabel 8.2. Gradasi <i>positive sharp wave</i> .....	165

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar belakang**

Kesehatan merupakan modal utama manusia untuk dapat melakukan seluruh aktifitasnya dan salah satu indikator tingkat kesejahteraan manusia, sehingga setiap manusia akan melakukan berbagai upaya demi mewujudkan hidup yang sehat. Manusia terus bergerak untuk pemenuhan kebutuhan kehidupan dan keinginan mereka. Kebutuhan manusia sendiri jika ditinjau dari segi tingkatan kepentingannya dibagi menjadi kebutuhan primer, sekunder, dan tersier. Kebutuhan primer adalah kebutuhan yang sangat penting bagi orang yang bersangkutan sehingga baginya kebutuhan ini haruslah dipenuhi paling dulu dan paling utama. Dahulu kebutuhan primer hanya mencakup sandang, pangan, dan papan. Namun dewasa ini, karena kehidupan yang semakin kompleks maka ditambahkan pula sebagai kebutuhan primer yaitu kebutuhan akan kesehatan, pendidikan, hiburan dan lain-lain<sup>(1)</sup>.

Kebutuhan dasar manusia merupakan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh manusia dalam mempertahankan keseimbangan fisiologis maupun psikologis, yang tentunya bertujuan untuk mempertahankan kehidupan dan kesehatan. Kebutuhan dasar manusia menurut Abraham Maslow dalam teori Hirarki menyatakan bahwa setiap manusia memiliki lima kebutuhan dasar yaitu kebutuhan fisiologis, keamanan, cinta, harga diri, dan aktualisasi diri. Besarnya kebutuhan dasar yang terpenuhi menentukan tingkat kesehatan dan posisi pada rentang sehat-sakit<sup>(2)</sup>.

Menurut WHO (1948) Sehat itu sendiri dapat diartikan bahwa suatu keadaan yang sempurna baik secara fisik, mental dan sosial serta tidak hanya bebas dari penyakit atau kelemahan. Definisi WHO tentang sehat mempunyai karakteristik berikut yang dapat meningkatkan konsep sehat yang positif<sup>(3,4)</sup>:

1. Memperhatikan individu sebagai sebuah sistem yang menyeluruh.
2. Memandang sehat dengan mengidentifikasi lingkungan internal dan eksternal.
3. Penghargaan terhadap pentingnya peran individu dalam hidup.

Kesehatan bersifat menyeluruh dan mengandung empat aspek. Perwujudan dari masing-masing aspek tersebut dalam kesehatan seseorang antara lain sebagai berikut<sup>(5)</sup>:

1. Kesehatan fisik terwujud apabila seseorang tidak merasa dan mengeluh sakit atau tidak adanya keluhan dan memang secara objektif tidak tampak sakit. Semua organ tubuh berfungsi normal atau tidak mengalami gangguan.

2. Kesehatan mental (jiwa) mencakup 3 komponen, yakni pikiran, emosional, dan spiritual: Pikiran sehat tercermin dari cara berpikir atau jalan pikiran. Emosional sehat tercermin dari kemampuan seseorang untuk mengekspresikan emosinya, misalnya takut, gembira, kuarir, sedih dan sebagainya. Spiritual sehat tercermin dari cara seseorang dalam mengekspresikan rasa syukur, pujian, kepercayaan dan sebagainya terhadap sesuatu di luar alam fana ini, yakni Tuhan Yang Maha Kuasa. Misalnya sehat spiritual dapat dilihat dari praktik keagamaan seseorang. Dengan perkataan lain, sehat spiritual adalah keadaan dimana seseorang menjalankan ibadah dan semua aturan-aturan agama yang dianutnya.
3. Kesehatan sosial terwujud apabila seseorang mampu berhubungan dengan orang lain atau kelompok lain secara baik, tanpa membedakan ras, suku, agama atau kepercayaan, status sosial, ekonomi, politik, dan sebagainya, serta saling toleran dan menghargai.
4. Kesehatan dari aspek ekonomi terlihat bila seseorang (dewasa) produktif, dalam arti mempunyai kegiatan yang menghasilkan sesuatu yang dapat menyokong terhadap hidupnya sendiri atau keluarganya secara finansial. Bagi mereka yang belum dewasa (siswa atau mahasiswa) dan usia lanjut (pensiunan), dengan sendirinya batasan ini tidak berlaku. Oleh sebab itu, bagi kelompok tersebut, yang berlaku adalah produktif secara sosial, yakni mempunyai kegiatan yang berguna bagi kehidupan mereka nanti, misalnya berprestasi bagi siswa atau mahasiswa, dan kegiatan sosial, keagamaan, atau pelayanan kemasyarakatan lainnya bagi usia lanjut. Dalam pengertian yang paling luas sehat merupakan suatu keadaan yang dinamis dimana individu menyesuaikan diri dengan perubahan-perubahan lingkungan internal (psikologis, intelektual, spiritual dan penyakit) dan eksternal (lingkungan fisik, sosial, dan ekonomi) dalam mempertahankan kesehatannya.

Kesehatan yang menjadi modal utama dalam melakukan seluruh aktivitas kehidupan dan sekaligus menjadi kebutuhan primer, maka manusia akan terus bergerak dalam segala aspek kehidupan untuk pencapaian tersebut. Tiap pergerakan manusia membutuhkan energi yang digunakan oleh otot untuk melakukan kontraksi-relaksasi secara harmonis. Oleh karena itu, penting perlunya untuk memperhatikan efisiensi dan efektifitas dari gerakan untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan energi yang minimal. Ilmu yang mempelajari gerakan manusia yang efisien, efektif dan aman dengan pendekatan dari analisis rangka, otot dan hukum mekanika adalah kinesiologi<sup>(6)</sup>.

Gerak tergantung dari koordinasi dan integritas pada setiap level yang berjenjang, mulai dari tingkat mikro sampai dengan tingkat makro, yaitu terjadi pada molekuler, sel, jaringan, organ, sistem, dan individu serta dipengaruhi pula oleh faktor-faktor internal maupun eksternal. Kualitas gerak fungsional pun tergantung dari efektifitas dan efisiensi gerak dari individu tersebut. Ada beberapa faktor yang dapat dijadikan acuan untuk menilai efektifitas dan efisiensi gerak individu antara lain; fleksibilitas (*flexibility*), keseimbangan (*balance*), koordinasi (*coordination*), kekuatan (*power*) dan daya tahan (*endurance*)<sup>(7)</sup>.

Keseimbangan tubuh adalah salah satu faktor yang penting bagi aktivitas dan kesehatan manusia. Dimana setiap aktivitas fisik yang dilakukan manusia membutuhkan tingkat keseimbangan yang baik. Seperti halnya kerangka bangunan rumah, kerangka tubuh manusia pun memiliki titik keseimbangan. Titik keseimbangan merupakan titik yang menjaga keseimbangan seluruh kerangka yang menopang bangunan tubuh manusia. agar tetap berdiri kokoh. Bila ia bergeser, maka bangunan tubuh manusia menjadi tidak seimbang dan goyah. Oleh karena itu titik keseimbangan ini harus dijaga agar tetap berada pada kedudukannya. Persoalannya, berbeda dengan rumah, tubuh manusia tidak menetap, selalu bergerak dan berubah-ubah posisi. Dengan demikian titik keseimbangannya pun ikut berubah-ubah mengikuti pergerakan dan perubahan posisi tubuh<sup>(8)</sup>.

Di dalam tubuh juga terdapat proses keseimbangan dari sistem organ di seluruh tubuh yakni sistem integumen, sistem rangka, sistem otot, sistem saraf, sistem endokrin, sistem kardiovaskuler, sistem respirasi, sistem urinaria, sistem pencernaan, dan sistem reproduksi. Proses keseimbangan ini sangat berkaitan satu sama yang lain untuk memperoleh kondisi homeostasis. Homeostasis merupakan keadaan relatif konstan di dalam lingkungan internal tubuh. Semua proses yang terjadi dalam organisme hidup untuk mempertahankan lingkungan internal, dalam kondisi tertentu agar tercipta kondisi yang optimal bagi kehidupan organisme yang bersangkutan<sup>(9)</sup>.

Jika satu atau lebih sistem tubuh gagal berfungsi secara benar, homeostasis akan terganggu dan sebagian besar sel akan menderita karena mereka tidak lagi memperoleh lingkungan yang optimal sehingga muncul keadaan patofisiologis. Patofisiologis mengacu kepada abnormalitas fungsional tubuh (perubahan fisiologi) yang menyebabkan gangguan, ketidaknyamanan hingga penyakit. Jika gangguan terhadap homeostasis menjadi sedemikian berat sehingga tidak lagi memungkinkan kelangsungan hidup, maka akan dapat menimbulkan kematian<sup>(9)</sup>.

## **I.2. Visi, Misi, dan Tujuan**

### **I.2.1. Visi**

Penulis ingin memberikan penjelasan mengenai ilmu kinesiologi dengan pendekatan ilmu anatomi, histologi, fisiologi, dan aspek klinis. Penyusunan buku ini juga dilatarbelakangi oleh karena minimnya literatur mengenai kinesiologi dalam bahasa Indonesia untuk mahasiswa kedokteran atau kesehatan olahraga.

### **I.2.2. Misi**

1. Menjelaskan konsep sehat-sakit.
2. Menjelaskan Biomekanika Dasar, dan Keseimbangan Sistem Muskuloskeletal.
3. Menjelaskan Anatomi, Histologi, dan Fisiologi Otot.
4. Menjelaskan Kinetika dan Kinematika Sistem Muskuloskeletal.
5. Menjelaskan Anatomi Otot Rangka beserta *origo-insertio*, saraf dan vaskularisasi pada masing-masing persendian.
6. Menjelaskan Hubungan Sistem Muskuloskeletal dengan Pemeriksaan Tanda Vital.

### **I.2.3. Tujuan**

Tujuan pembuatan buku ini adalah memberikan penjelasan mengenai kinesiologi dalam hubungannya dengan keseimbangan sistem muskuloskeletal maupun sistem saraf otonom, pendekatan biomekanika otot dan aspek klinis.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. Maslow, A. H., 1943. A Theory of Human Motivation. *Psychological Review*. 50(4): 370-96.
2. Potter & Perry., 2005. *Buku Ajar Fundamental Keperawatan vol 1*. Jakarta: EGC.
3. *Constitution of the World Health Organization*. 1948. Geneva: World Health Organization.
4. Edelman, C.L., and Mandle, C. L., 1994. *Health promotion Throught the lifespan*. (3 Ed) The Mosby: St Louis.
5. Sarudji, Didik., 2004. *Ilmu Kesehatan Masyarakat*. Jilid I. Semarang: Pusdiknakes.
6. Luttgens and Wells., 1982. *Kinesiologi*. Philadelphia: Holt Reinshart dan Winston.
7. Eng J., Chu K., 2002. *Reliability and Comparison of Weight-Bearing Ability during Standing Tasks for Individuals with Chronic Stroke*. UK: Arch Phys Med Rehabil. 83(8): 1138-1144.
8. Malina, R.M., and Bouchard, C., 1991. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
9. Guyton, A.C., dan Hall, J.E., 2008. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 11. Jakarta: EGC.

## **BAB II**

### **KONSEP SEHAT-SAKIT**

#### **II.1. Definisi Sehat-Sakit**

##### **II.1.1. Definisi sehat**

Menurut World Health Organization (WHO) sehat adalah “*a state of complete physical, mental, and social well being and not merely the absence of illness or infirmity*” (Suatu keadaan yang sempurna baik fisik mental dan sosial tidak hanya bebas dari penyakit atau kelemahan). Mengandung 3 karakteristik<sup>(1)</sup>:

- a. Merefleksikan perhatian pada individu sebagai manusia
- b. Memandang sehat dalam konteks lingkungan internal dan eksternal.
- c. Sehat diartikan sebagai hidup yang kreatif dan produktif.

Sehat merupakan bukan suatu kondisi tetapi merupakan penyesuaian, bukan merupakan suatu keadaan tetapi suatu proses. Proses di sini adalah adaptasi individu yang tidak hanya terhadap fisik mereka tetapi terhadap lingkungan sosialnya<sup>(1)</sup>.

Menurut Pender (1982) sehat adalah perwujudan individu yang diperoleh melalui kepuasan dalam berhubungan dengan orang lain (aktualisasi). Perilaku yang sesuai dengan tujuan, perawatan diri yang kompeten sedangkan penyesuaian diperlukan untuk mempertahankan stabilitas dan integritas struktural<sup>(2)</sup>. Menurut Undang-Undang No. 23 tahun 1992 tentang kesehatan, sehat adalah keadaan sejahtera dari badan, jiwa dan sosial yang memungkinkan setiap orang hidup produktif secara sosial dan ekonomis<sup>(3)</sup>. Menurut Dunn (1959) adalah sesuatu kejadian dimana tidak adanya tanda-tanda dan gejala dari penyakit<sup>(4)</sup>. Menurut Perkin (1982) adalah suatu keadaan keseimbangan yang dinamis setara bentuk tubuh dan fungsinya yang dapat mengadakan penyesuaian, sehingga tubuh dapat mengatasi gangguan dari luar<sup>(5)</sup>.

#### Paradigma Sehat

Paradigma sehat adalah cara pandang, pola pikir, atau model pembangunan kesehatan yang bersifat holistik. Melihat masalah kesehatan yang dipengaruhi oleh banyak faktor yang bersifat lintas sektor. Upayanya lebih diarahkan pada peningkatan, pemeliharaan dan perlindungan kesehatan, bukan hanya penyembuhan orang sakit atau pemulihan kesehatan tetapi bagaimana menjadikan orang tetap dalam kondisi sehat. Kesehatan dipengaruhi banyak faktor, yang utama lingkungan dan perilaku. Kesehatan juga merupakan hak azasi manusia

dan menentukan kualitas hidup sumber daya manusia. Sejalan dengan berkembangnya waktu paradigma pelayanan kesehatan sedang dikaji ulang<sup>(6)</sup>.

Paradigma sehat merupakan model pembangunan kesehatan jangka panjang yang diharapkan mampu mendorong masyarakat untuk bersikap mandiri dalam menjaga kesehatan mereka sendiri. Paradigma sehat didefinisikan sebagai cara pandang atau pola pikir pembangunan kesehatan yang bersifat holistik, proaktif, antisipasif, dengan melihat masalah kesehatan sebagai masalah yang dipengaruhi oleh banyak faktor secara dinamis dan lintas sektoral, dalam suatu wilayah yang berorientasi kepada pemeliharaan dan perlindungan terhadap penduduk agar tetap sehat dan bukan hanya penyembuhan penduduk yang sakit.

Pada intinya paradigma sehat memberikan perhatian utama terhadap kebijakan yang bersifat pencegahan dan promosi kesehatan, memberikan dukungan dan alokasi sumber daya untuk menjaga agar yang sehat tetap sehat namun tetap mengupayakan yang sakit segera sehat. Pada prinsipnya kebijakan tersebut menekankan pada masyarakat untuk mengutamakan kegiatan kesehatan daripada mengobati penyakit<sup>(7)</sup>.

### II.1.2. Definisi Sakit

Menurut Bauman (1961) sakit adalah: ketidakseimbangan dari kondisi normal tubuh manusia diantaranya sistem biologik dan kondisi penyesuaian. Terdapat mengemukakan tiga kriteria dari keadaan sakit<sup>(8)</sup>:

- a. Adanya gejala
- b. Persepsi tentang keadaan yang dirasakan.
- c. Kemampuan dalam aktivitas sehari-hari.

Menurut Parsons (1951) sakit adalah gangguan dalam fungsi normal individu sebagai totalitas termasuk keadaan organism sebagai sistem biologis dan penyesuaian sosialnya. Pengertian sakit dalam bahasa inggris diartikan menjadi 2 yaitu *illness* dan *disease* perbedaan kedua istilah ini ialah<sup>(9)</sup>:

#### a. *Illness*

- Konsepnya abstrak
- Sifatnya subjektif
- Akibat mekanisme koping (pertahanan) tak adekuat.

#### b. *Disease*

- Suatu kondisi yang patologis
- Terdapat *sign* dan *symptom*.

Menurut Perkins (1982) sakit adalah suatu keadaan gangguan yang tidak menyenangkan menimpa seseorang sehingga menimbulkan gangguan aktivitas sehari-hari, baik aktivitas jasmani, rohani dan sosial<sup>(5)</sup>.

#### **II.1.2.1. Fase-fase Sakit**

- Fase laten

Seseorang sudah terinfeksi suatu mikroorganisme, karena badan seseorang baik maka gejala-gejala dan tanda-tanda serta keluhan belum ada, sehingga aktifitas sehari-hari dapat dilakukan.

- Prodromal

Pada fase ini seseorang sudah terdapat peningkatan, bahwa dirinya sakit, seperti tidak enak badan atau kadang-kadang lemas.

- Akut

Tanda dan gejala akan bertambah dan semakin lengkap, bentuknya di sini klien baru sadar bahwa dirinya sakit, kadang-kadang emosinya tidak stabil dan lekas marah, dan ia hanya mampu memikirkan dirinya sendiri dan penyakitnya.

- Resolusi

Klien perlu tindakan yang sifatnya mengembalikan secara normal<sup>(10)</sup>.

#### **II.1.2.2. Tahapan Sakit**

Tahapan sakit terbagi menjadi 5 tahap yaitu<sup>(11)</sup>:

1. Tahap gejala/transisi: individu percaya bahwa ada kelainan dalam tubuh, merasa dirinya tidak sehat, merasa timbulnya berbagai gejala adanya bahaya. Mempunyai 3 aspek :
  - Secara fisik: nyeri, panas tinggi
  - Kognitif: interpretasi terhadap gejala
  - Respons emosi terhadap ketakutan / kecemasan.
2. Tahap asumsi terhadap peran sakit (*Sick Role*) yaitu Penerimaan terhadap sakit dimana individu mencari kepastian sakitnya dari keluarga atau teman: menghasilkan peran sakit, mencari pertolongan dari profesi kesehatan yang lain mengobati sendiri, mengikuti nasihat teman/keluarga.

Akhir tahap ini dapat ditentukan bahwa gejala telah berubah dan merasa lebih buruk. Individu masih mencari penegasan dari keluarga tentang sakitnya. Rencana pengobatan dipenuhi/dipengaruhi oleh pengetahuan dan pengalaman.

### 3. Tahap kontak dengan pelayanan kesehatan

Individu yang sakit meminta nasehat dari profesi kesehatan atas inisiatif sendiri.

Ada 3 tipe informasi:

- Validasi sakit
- Penjelasan gejala yang tidak dimengerti
- Keyakinan bahwa mereka akan baik.

Jika tidak ada gejala individu mempersepsikan dirinya sembuh jika ada gejala kembali pada posisi kesehatan.

### 4. Tahap ketergantungan

Jika profesi kesehatan memvalidasi (menetapkan) bahwa seseorang sakit maka yang menjadi pasien akan ketergantungan untuk memperoleh bantuan.

### 5. Tahap penyembuhan

Pasien belajar untuk melepaskan peran sakit.

## **II.1.2.3. Rentang Sehat–Sakit**

1. Status sehat sakit tidak bersifat mutlak karena sehat-sakit merupakan rentang (jarak)

2. Skala akur secara hipotesis dengan mengukur kesehatan seseorang. Uraian di atas menyebutkan bahwa tidak ada standar / ukuran yang pasti untuk mengatakan keadaan seseorang itu sehat sakit.

3. Dinamis dan Individual.

Status kesehatan seseorang sifatnya berubah-ubah dan sifatnya individual. Intensitasnya dan mekanisme coping yang dipergunakan.

4. Jarak sehat optimal – kematian

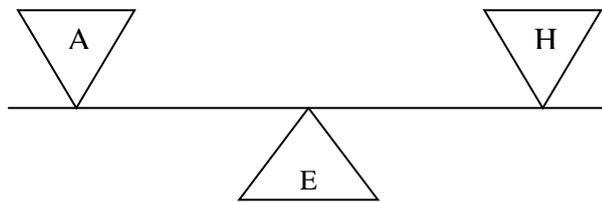
Rentang sehat – sakit terdiri atas rentang sehat yang dimulai dari sejahtera, sehat sekali, sehat normal, sedangkan rentang sakit dimulai dari setengah sakit, sakit, sakit kronis dan berakhir pada kematian<sup>(11)</sup>.

#### II.1.2.4. Hubungan Sehat–Sakit

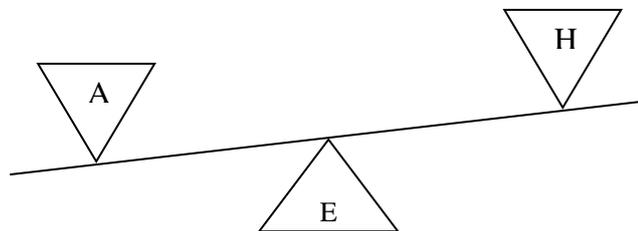
Hubungan sehat – sakit dapat dijelaskan melalui beberapa model konsep sehat – sakit, diantaranya<sup>(11)</sup>:

##### 1. Model Ekologi (*The Traditional Ecological Model*)

Merupakan model status kesehatan seseorang yang ditentukan dengan adanya hasil interaksi antara *Host* (Manusia), *Agent* dan lingkungan. Hubungan interaksi yang positif akan menimbulkan kondisi yang seimbang (sehat), dan bila salah satu terjadi ketidakseimbangan maka yang lain akan mengalami kemampuan yang menurun dan menimbulkan sakit.



Gambar 2.1. Kondisi Seimbang (Equilibrium) = sehat<sup>(11)</sup>

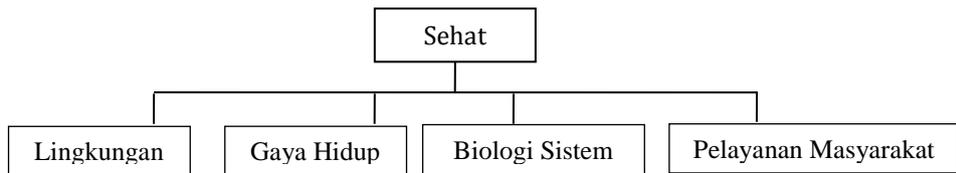


Gambar 2.2. Kondisi Tidak Seimbang = sakit<sup>(11)</sup>

##### 2. *The Health Field Concept Model*

Model ini dikembangkan oleh HL Lamfframboise yang menjelaskan bahwa ada 4 faktor yang berperan dalam kondisi status kesehatan diantaranya ;

- Faktor lingkungan
- Faktor gaya hidup
- Faktor biologis
- Faktor sistem pelayanan kesehatan

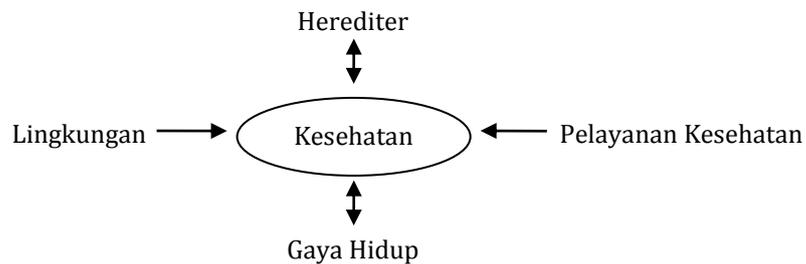


Gambar 2.3. *The Health Field Concept Model*<sup>(11)</sup>

### 3. *The Enviroment of Health Model.*

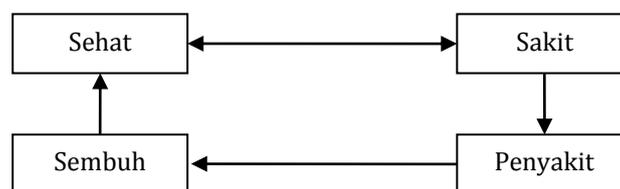
Model ini dikembangkan oleh HL Blum dimana merupakan pengembangan model sebelumnya dengan memberi penjelasan peranan atau faktor penyebab kondisi sehat-sakit, diantaranya:

- Herediter
- Pelayanan kesehatan
- Gaya hidup
- Faktor lingkungan → merupakan faktor dengan peran paling besar



Gambar 2.4. *The Enviroment of Health Model*<sup>(11)</sup>

Hubungan Sehat-Sakit dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5. Hubungan Sehat - Sakit<sup>(11)</sup>

## II.2. Kriteria Sehat-Sakit

Kriteria yang digunakan untuk menentukan seseorang sakit atau tidak adalah sebagai berikut<sup>(11)</sup>:

- Adanya gejala: naiknya temperatur dan nyeri
- Persepsi tentang bagaimana mereka merasakan baik, buruk, dan sakit
- Kemampuan untuk melaksanakan aktivitas sehari-hari.

## II.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kesehatan

Keempat faktor tersebut saling berinteraksi yang mempengaruhi kesehatan perorangan dan derajat kesehatan masyarakat. Di antara faktor tersebut faktor perilaku manusia merupakan faktor determinan yang paling besar dan paling sukar ditanggulangi, disusul dengan faktor lingkungan. Hal ini disebabkan karena faktor perilaku yang lebih dominan dibandingkan dengan faktor lingkungan karena lingkungan hidup manusia juga sangat dipengaruhi oleh perilaku masyarakat. Keempat faktor yang mempengaruhi derajat kesehatan masyarakat di atas tidak berdiri sendiri-sendiri, namun saling berpengaruh. Oleh karena itu upaya pembangunan harus dilaksanakan secara simultan dan saling mendukung<sup>(10)</sup>:

### 1. Faktor perilaku (*life style*)

Budaya hidup bersih dan sehat harus dapat dimunculkan dari dalam diri masyarakat untuk menjaga kesehatannya, sehingga menghasilkan lingkungan yang bersih dan sehat. Beberapa kegiatan yang mungkin kita lakukan seperti:

- Berolahraga. Contohnya: pada masyarakat tradisonal dimana sarana transportasi masih sangat minim maka masyarakat terbiasa berjalan kaki dalam beraktivitas, sehingga individu/masyarakat senantiasa menggerakkan anggota tubuhnya (berolah raga). Pada masyarakat modern dimana sarana transportasi sudah semakin maju, maka individu/masyarakat terbiasa beraktivitas dengan menggunakan transportasi seperti kendaraan bermotor sehingga individu/masyarakat kurang menggerakkan anggota tubuhnya (berolah raga). Kondisi ini dapat beresiko mengakibatkan obesitas pada masyarakat modern karena kurang berolah raga ditambah lagi kebiasaan masyarakat modern mengkonsumsi makanan cepat saji yang kurang mengandung serat.
- Tidur.
- Merokok, perilaku merokok sejak usia dini akan meningkatkan resiko kanker paru.
- Minum.
- *Promiscuity*: tempat-tempat berisiko.

- Narkoba.

Apabila kita mengembangkan kebiasaan yang baik dari awal, akan berpengaruh positif terhadap kesehatan tubuh. Sebaliknya, jika kita mengembangkan kebiasaan yang kurang baik dari awal, maka akan berpengaruh negative terhadap kesehatan tubuh. Kita bebas melakukan kebiasaan sehari – hari. Sebaiknya melakukan hal yang positif seperti tidur, olah raga, dan rutinitas yang sehat dalam jumlah tertentu supaya kita bisa hidup sehat.

## 2. Faktor lingkungan (*environment*)

Lingkungan ini meliputi lingkungan fisik (baik natural atau buatan manusia), dan sosiokultur (ekonomi, pendidikan, pekerjaan dll). Lingkungan fisik, kesehatan akan dipengaruhi oleh:

- Kualitas sanitasi lingkungan dimana manusia itu berada. buruknya kualitas sanitasi lingkungan akan menjadi sumber penyakit. Misalnya: air bersih pada suatu daerah akan mempengaruhi derajat kesehatan karena air merupakan kebutuhan pokok manusia dan manusia selalu berinteraksi dengan air dalam kehidupan sehari-hari
- Terjadinya penumpukan sampah yang tidak dapat dikelola dengan baik
- Polusi udara, air dan tanah
- Bahan Beracun Berbahaya (B3)

Lingkungan sosial berkaitan dengan kondisi perekonomian suatu masyarakat. Semakin miskin individu/masyarakat maka akses untuk mendapatkan derajat kesehatan yang baik maka akan semakin sulit. Contohnya: manusia membutuhkan makanan dengan gizi seimbang untuk menjaga kelangsungan hidup, jika individu/masyarakat berada pada garis kemiskinan maka akan sulit untuk memenuhi kebutuhan makanan dengan gizi seimbang. Demikian juga dengan tingkat pendidikan individu/masyarakat, semakin tinggi tingkat pendidikan individu/masyarakat maka pengetahuan untuk hidup sehat akan semakin baik.

Lingkungan sosial, kesehatan dipengaruhi oleh:

- Semakin tinggi tingkat pendidikan individu/masyarakat maka pengetahuan akan cara hidup sehat akan semakin baik.
- Ada norma agama pada umat Islam tentang konsep haram terhadap alcohol akan menurunkan tingkat konsumsi alcohol.

### 3. Faktor keturunan atau genetik (*heredity*)

*Heredity*, faktor genetic ini sangat berpengaruh pada derajat kesehatan. Hal ini karena ada beberapa penyakit yang diturunkan lewat genetic, seperti leukemia. Faktor hereditas sulit untuk diintervensi karena hal ini merupakan bawaan dari lahir dan jika dapat diintervensi maka harga yang dibayar sangat mahal

Penyakit-penyakit yang sifatnya turunan dan mempengaruhi sumberdaya masyarakat, Jumlah penduduk dan Pertumbuhan penduduk serta jumlah kelompok khusus/rentan: bumil, persalinan, bayi, dll.

Contohnya:

- Perkawinan antar golongan darah tertentu akan mengakibatkan leukemia.
- Adanya kretinisme yang diakibatkan mutasi genetic

Upaya pencegahan :

- perbaiki gizi ibu hamil
- pendidikan kesehatan pada kelompok risiko penyakit keturunan.

### 4. Pelayanan Kesehatan (*Medical care services*)

Kondisi pelayanan kesehatan juga menunjang derajat kesehatan masyarakat. Pelayanan kesehatan disini adalah pelayanan kesehatan yang paripurna dan intregatif antara promotif, preventif, kuratif dan rehabilitative. Banyak kejadian kematian yang seharusnya dapat dicegah seperti diare, demam berdarah, malaria, dan penyakit degeneratif yang berkembang saat ini seperti jantung karoner, stroke, diabetes militus dan lainnya. Penyakit itu dapat dengan mudah dicegah asalkan masyarakat paham dan melakukan nasehat dalam menjaga kondisi lingkungan dan kesehatannya. Upaya meningkatkan akses pelayanan kesehatan masyarakat antara lain:

- Adanya upaya promotif terhadap penularan HIV/AIDS akan menurunkan prevalensi HIV/AIDS.
- Pemerintah melaksanakan program jaga mutu. Untuk pelayanan di rumah sakit program jaga mutu dilakukan dengan melaksanakan akreditasi rumah sakit.
- Tersedianya sarana & prasaran kesehatan (balai pengobatan) yang baik akan memudahkan masyarakat dalam mendapatkan pelayanan kesehatan yang bermutu dan berkualitas. Seperti: peralatan kesehatan bersumberdaya masyarakat, membangun Puskesmas, Pustu, Bidan Desa, Pos Obat Desa, dan jejaring lainnya. Ketersediaan fasilitas dengan mutu **pelayanan** yang baik akan mempercepat perwujudan derajat kesehatan masyarakat. Ketersediaan fasilitas tentunya harus ditopang dengan

tersedianya tenaga kesehatan yang merata dan cukup jumlahnya serta memiliki kompetensi di bidangnya.

- Adanya asuransi kesehatan akan memudahkan individu/masyarakat untuk mengakses pelayanan kesehatan.
- Adanya program jaminan kesehatan masyarakat (Jamkesmas) bagi masyarakat kurang mampu. Program ini berjalan secara sinergi dengan program pemerintah lainnya seperti Program bantuan langsung tunai (BLT), Wajib Belajar dan lain lain.
- Perbaiki fasilitas kesehatan, perbaikan sistem dan manajemen pelayanan kesehatan

Jadi, semakin mudah akses individu/masyarakat terhadap pelayanan kesehatan maka derajat kesehatan masyarakat akan semakin baik.

Faktor lain yang mempengaruhi atau menentukan terwujudnya kesehatan seseorang, kelompok atau masyarakat<sup>(10)</sup>.

#### 1. Faktor makanan

Makanan merupakan faktor penting dalam kesehatan kita. Mereka yang memelihara tubuhnya dengan makanan yang cocok, menikmati tubuh yang benar-benar sehat. Kecocokan makanan ini menurut waktu, jumlah, dan harga yang tepat. Mereka yang makan makanan yang tidak cocok dengan tubuhnya maka akan menimbulkan penyakit. Jadi, untuk sehat, kita hanya memerlukan makanan yang tepat dalam jumlah yang sesuai.

#### 2. Pendidikan atau tingkat pengetahuan

Tingkat pengetahuan akan membentuk cara berpikir dan kemampuan seseorang untuk memahami faktor-faktor yang berhubungan dengan penyakit dan menggunakan pengetahuan tersebut untuk menjaga kesehatannya. Pendidikan juga secara tidak langsung akan mempengaruhi perilaku seseorang dalam menjaga kesehatannya. Biasanya, orang yang berpendidikan (dalam hal ini orang yang menempuh pendidikan formal) mempunyai resiko lebih kecil terkena penyakit atau masalah kesehatan lainnya dibandingkan dengan masyarakat yang awam dengan kesehatan.

#### 3. Faktor sosio-ekonomi

Faktor-faktor sosial dan ekonomi seperti lingkungan sosial, tingkat pendapatan, pekerjaan, dan ketahanan pangan dalam keluarga merupakan faktor yang berpengaruh besar pada penentuan derajat kesehatan seseorang. Dalam masalah gizi buruk misalnya, masyarakat dengan tingkat ekonomi dan berpendapatan rendah biasanya lebih rentan menderita gizi buruk. Hal tersebut bisa terjadi karena orang dengan tingkat ekonomi rendah sulit untuk mendapatkan makanan dengan nilai gizi yang bisa dibayar layak.

#### 4. Latar belakang budaya

Latar belakang budaya mempengaruhi keyakinan, nilai, dan kebiasaan individu, termasuk sistem pelayanan kesehatan dan cara pelaksanaan kesehatan pribadi. Indonesia yang terbentang dari Sabang sampai Merauke memiliki beribu-ribu suku dengan adat istiadat yang berbeda-beda pula. Sebagian dari adat istiadat tersebut ada yang masih bisa dibilang “primitif” dan tidak mempedulikan aspek kesehatan. Misalnya saja, pada suku Baduy yang tidak memperbolehkan masyarakat menggunakan alas kaki.

#### 5. Usia

Setiap rentang usia (bayi-lansia) memiliki pemahaman dan respon yang berbeda-beda terhadap perubahan kesehatan yang terjadi.

#### 6. Faktor emosional

Setiap pemikiran positif akan sangat berpengaruh, pikiran yang sehat dan bahagia semakin meningkatkan kesehatan tubuh kita. Tidak sulit memahami pengaruh dari pikiran terhadap kesehatan kita. Yang diperlukan hanyalah usaha mengembangkan sikap yang benar agar tercapai kesejahteraan.

#### 7. Faktor agama dan keyakinan

Agama dan kepercayaan yang dianut oleh seorang individu secara tidak langsung mempengaruhi perilaku kita dalam berperilaku sehat. Misalnya, pada agama Islam diajarkan bahwa “anna ghafatul minal iman” atau “kebersihan adalah sebagian dari iman”. Sebagai umat muslim, tentu kita akan melaksanakan perintah Allah SWT. untuk berperilaku bersih dan sehat.

Secara umum faktor yang mempengaruhi status kesehatan :

- Penyebab penyakit.
- Manusia sebagai tuan rumah.
- Lingkungan hidup<sup>(10)</sup>.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Budiarto, E., Angggraeni, D., 2003. *Pengantar Epidemiologi*. Edisi 2. Jakarta: EGC.
2. Pender , N. J., 1982. *Health Promotion in Nursing Practice*. Michigan University: Appleton-Century-Crofts.
3. Depkes RI., 1992. *UU RI No.23 Tahun 1992 Tentang Kesehatan*. Depkes RI.
4. Dunn, H. L., 1959. High-level wellness for man and society. *Am. J. Pub. Health*, 49 (6): 786-792.
5. Perkins, D. V., 1982. *The assessment of stress using life events scales*. In L. Goldberger & S. Breznitz (Eds.), *Handbook of stress*. New York: Free Press.

6. Notoatmodjo, Soekidjo., 2005. Kesehatan dan Pembangunan Sumber Daya Manusia. Jakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*. Vol.2 (5).
7. Soejoeti, Sunanti Z., 2005. *Konsep Sehat, Sakit dan Penyakit dalam Konteks Sosial Budaya*. Jakarta: Pusat Penelitian Ekologi Kesehatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Departemen Kesehatan RI.
8. Baumann, B., 1961. Diversities in conceptions of health and physical fitness. *Journal of Health and Human Behavior*. 2 (1): 39-46.
9. Parsons, T., 1951. *The Social System*. London: Routledge.
10. Notoatmodjo, S., 2007. *Promosi Kesehatan dan Ilmu Perilaku*. Jakarta: Rineka Cipta.
11. Bustan, M. N., 2006. *Pengantar Epidemiologi*. Jakarta: Asdi Mahasatya.

## **BAB III**

### **KESEIMBANGAN DALAM TUBUH MANUSIA**

#### **III.1. Penerapan Hukum Newton, Momentum, Keseimbangan-stabilitas, dan Energi**

##### **III.1.1. Penerapan Hukum Newton**

Gaya merupakan interaksi apapun yang dapat menyebabkan sebuah benda bermassa mengalami perubahan gerak, baik dalam bentuk arah, maupun konstruksi geometris. Dengan kata lain, sebuah gaya dapat menyebabkan sebuah objek dengan massa tertentu untuk mengubah kecepatannya (termasuk untuk bergerak dari keadaan diam), atau berakselerasi, atau untuk terdeformasi. Dalam kehidupan sehari-hari, manusia selalu berkaitan dengan gaya gerak baik di dalam tubuh (contoh gaya yang dihasilkan oleh otot jantung; paru dan lain-lainnya) maupun gaya pada tubuh itu sendiri (misalnya duduk, berjalan, mengangkat dan lain sebagainya) untuk mempertahankan kelangsungan kehidupan.. Dalam tubuh manusia, gaya dihasilkan oleh kontraksi otot yang disebut dengan gaya internal. Sedangkan gaya eksternal yang bekerja pada tubuh manusia adalah<sup>(1)</sup>:

- a. Gaya berat (gaya gravitasi =  $F_w$ ) adalah gaya tarik bumi yang mempengaruhi keadaan tubuh manusia dan selalu bekerja kearah bawah (kearah perut bumi).
- b. Gaya normal ( $F_n$ ) adalah gaya reaksi dari sebuah bidang tumpuan dan selalu bekerja tegak lurus pada bidang kontakannya.
- c. Gaya gesek ( $F_z$ ) adalah gaya yang timbul bila 2 buah obyek saling kontak dan berpindah dalam arah yang berlawanan.

Gaya yang bekerja pada suatu tubuh dapat digambarkan dengan menggunakan vektor yaitu menggunakan tanda panah. Arah gaya dapat ditunjukkan oleh arah tanda panah, sedangkan besarnya gaya dapat ditunjukkan dengan panjangnya tanda panah. Titik aplikasi gaya dapat dilihat dari ekor tanda panah dimana tanda panah tersebut ditarik kearah gaya yang bekerja.

Didalam mempelajari gerakan pada tubuh manusia, perlu untuk mengetahui beberapa jenis sistem gaya yang bekerja, yaitu :

1. Gaya searah dan sejajar; terjadi ketika 2 buah gaya atau lebih bekerja dalam arah yang sama dan sejajar, sehingga resultan gayanya bekerja dalam arah yang sama, sejajar dan berada diantara kedua gaya tersebut, serta dapat dihitung secara aljabar.

2. Gaya berlawanan arah, sejajar dan sama besar; terjadi ketika 2 buah gaya atau lebih bekerja dalam arah yang berlawanan, sejajar dan kedua buah gaya tersebut sama besarnya, sehingga akan menghasilkan keseimbangan atau tubuh dalam keadaan diam.
3. Gaya berlawanan arah, sejajar dan tidak sama besar; sama dengan di atas, tetapi kedua buah gaya yang bekerja tidak sama besarnya, sehingga resultan gayanya bekerja sejajar dengan gaya yang paling besar dan berada diluar gaya yang terbesar serta dapat dihitung secara aljabar.
4. Gaya tidak sejajar dan berlawanan arah; terjadi ketika 2 buah gaya bekerja tidak sejajar dan berlawanan arah dalam satu titik aplikasi gaya<sup>(2)</sup>.

Gaya yang bekerja pada tubuh manusia menganut Hukum Newton, yang terdiri atas<sup>(3)</sup>:

### **1. Hukum Newton I (Hukum Inersia)**

Adapun bunyi hukum Newton pertama adalah:

“Setiap objek berlangsung dalam keadaan istirahat, atau gerakan yang sama pada suatu garis lurus. Kecuali benda itu dipaksa untuk berubah keadaan oleh gaya yang bekerja padanya.”

Hukum Newton pertama ini disebut juga sebagai hukum inersia (kelembaban). Ini berarti bahwa benda itu mempunyai sifat mempertahankan keadaannya; apabila benda itu sedang bergerak maka benda itu akan terus bergerak. Demikian pula benda itu sedang tidak bergerak maka benda itu bersifat malas untuk mulai bergerak. Dapat pula dikatakan bahwa semua obyek/ benda akan bergerak apabila ada gaya yang mengakibatkan pergerakan itu. Hukum ini menyatakan bahwa :

- a. Jika jumlah gaya = 0 ( $\Sigma F = 0$ ), maka gaya-gaya yang bekerja adalah sama besarnya sehingga tubuh tetap dalam keseimbangan.
- b. Jika jumlah gaya  $\neq 0$  ( $\Sigma F \neq 0$ ), maka gaya-gaya yang bekerja tidak sama besarnya sehingga terjadi perubahan posisi tubuh (bergerak).

Berdasarkan uraian di atas, maka inersia adalah keengganan suatu tubuh untuk merubah apa yang sedang dilakukannya, baik dalam keadaan istirahat maupun dalam keadaan terus bergerak. Tubuh dengan massa yang lebih besar mempunyai inersia yang lebih besar.

Massa adalah banyaknya material (unsur) yang dikandung oleh suatu tubuh atau segmen tubuh dan memiliki besaran yang konstan, dimana berlaku pada semua tempat. Massa merupakan suatu ukuran dari inersia tubuh. Satuan massa adalah kilogram (kg) atau pound (lb). Sedangkan berat adalah gaya gravitasi dari suatu tubuh atau segmen tubuh dan memiliki

besaran yang berbeda pada setiap tempat, sehingga berat tubuh dapat dinyatakan dalam rumus  $w = m \cdot g$ , dimana  $m$  adalah massa (kg) dan  $g$  adalah gaya gravitasi (9,8 m/s atau 10 m/s)<sup>(1)</sup>.

Dalam aktivitas kegiatan sehari-hari, tubuh manusia mengalami gerakan rotasi dan translasi sehingga massa tubuh dapat didistribusikan disekitar axis sendi yang bergerak. Dengan demikian, moment inersia yang dihasilkan oleh tubuh dapat dinyatakan dengan rumus:

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2 \rightarrow I = \Sigma m r^2$$

$I$  = moment inersia       $r$  = jarak tegak lurus massa dari axis       $m$  = massa

Adanya perubahan posisi-posisi tubuh maka distribusi massa disekitar axis dapat berubah, sehingga konsekuensinya moment inersia juga ikut berubah. Bentuk-bentuk ini merupakan dasar untuk memilih posisi awal (starting position) yang cocok didalam latihan sehingga pada awal gerakan dapat dengan mudah mengatasi inersia tubuh.

## 2. Hukum Newton II (Hukum Percepatan).

Hukum ini menguraikan faktor-faktor yang mempengaruhi percepatan suatu tubuh yaitu gaya, massa dan percepatan (angka perubahan dari kecepatan). Percepatan suatu tubuh adalah berbanding lurus dengan gaya yang tidak seimbang bekerja pada tubuh, dan berbanding terbalik dengan massa tubuh. Dengan demikian, dapat dinyatakan dalam rumus:

$$F = \text{gaya} \quad \boxed{a = F / m}$$

$m = \text{massa}$   
 $a = \text{percepatan}$

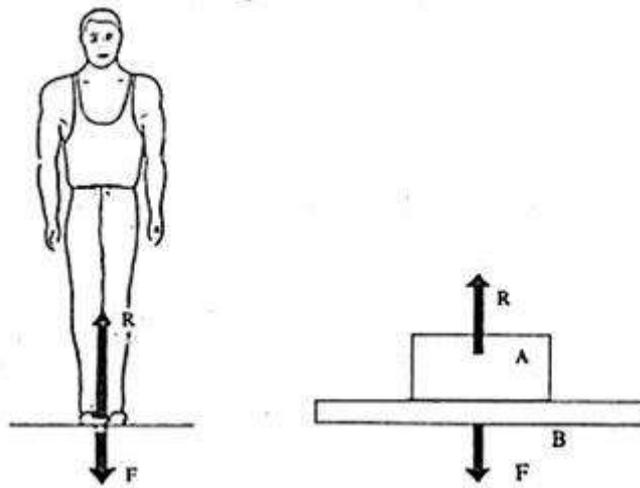
Suatu dorongan yang besar terhadap obyek yang kecil akan menggerakkan obyek dengan cepat (= percepatan). Sebaliknya, suatu dorongan yang kecil terhadap obyek yang besar akan menggerakkan obyek dengan lambat (= perlambatan).

## 3. Hukum Newton III

Hukum ini menyatakan bahwa untuk setiap aksi yang terjadi selalu ada reaksi dalam arah yang berlawanan dan sama besar gayanya. Jika kita berdiri di atas meja, maka kita mempunyai gaya aksi yang vertikal ke arah bawah, sementara meja memberikan gaya reaksi

yang vertikal ke arah atas (berlawanan arah), sehingga kedua gaya tersebut disimbolkan sebagai  $F_{aksi} = F_{reaksi}$ .

Bilamana suatu benda A memberi gaya F pada suatu benda B, pada waktu bersamaan benda B memberi gaya R pada benda A; gaya R sama dengan gaya F tetapi mempunyai arah yang berlawanan, lihat gambar berikut<sup>(3)</sup>:



Gambar 3.1. Arah gaya aksi dan reaksi dalam kesetimbangan<sup>(3)</sup>

Hasil pengamatan Newton ini disimpulkan sebagai hukum Newton ketiga yang berbunyi sebagai berikut: “Untuk setiap aksi, selalu ada reaksi yang arahnya berlawanan.”

### III.1.2. Momentum dan Momen Gaya

Momentum merupakan kuantitas gerakan dari suatu tubuh. Pada saat gerakan dimulai, tubuh yang mempunyai massa akan menghasilkan kecepatan gerakan tertentu. Momentum adalah hasil perkalian massa dan kecepatan dan setiap perubahan dalam momentum sama dengan impuls yang menghasilkannya ( $Gt = m.Vt - m.Vo$ ). Momentum merupakan besaran gerak yang bertambah atau berkurangnya dengan cara menambah atau mengurangi massa atau kecepatannya. Momentum juga dinamakan dengan kuantitas gerak yang besarnya berbanding lurus dengan massa dan kecepatan<sup>(4)</sup>.

$M = m \cdot v$
-----------------

M = Momentum kg. m/detik

m = massa dalam kg

v = kecepatan dalam m/detik.

Jika tubuh mempunyai massa yang berat maka gaya yang bertanggungjawab terhadap momentum akan menghasilkan gerakan yang lambat dan akan menghasilkan gerakan yang cepat pada tubuh yang bermassa kecil. Jika 2 tubuh bergerak dengan kecepatan yang sama dan salah satu tubuh mempunyai massa yang lebih besar maka tubuh tersebut akan mempunyai momentum yang lebih besar. Demikian pula, jika 2 tubuh mempunyai massa yang sama tetapi salah satunya dapat bergerak lebih cepat maka tubuh tersebut mempunyai momentum yang lebih besar.

Momen gaya adalah kecenderungan suatu obyek untuk bergerak/berputar disekitar axis (fulcrum) akibat pengaruh gaya. Gerakan yang terjadi pada bagian/segmen tubuh tergantung pada :

- besarnya gaya
- jarak titik gaya tersebut dengan *axis/fulcrum* (lengan gaya).

Sehingga dapat dinyatakan dalam rumus :

$$M = F \cdot d$$

M = momen gaya (Nm)

F = gaya (N)

d = lengan gaya (m)

Semakin panjang lengan gaya maka semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk bekerja. Momen gaya juga terjadi pada Sistem Tuas dan Kopel. Pada Sistem Tuas, jika  $\Sigma M = 0$  dan  $\Sigma F = 0$ , maka akan terjadi keseimbangan pada sebuah Tuas, begitu pula pada Kopel. Kopel gaya terjadi jika 2 buah gaya bekerja sejajar tetapi berlawanan arah. Dengan demikian, prinsip keseimbangan pada sebuah obyek adalah  $\Sigma M = 0$  dan  $\Sigma F = 0$ .

### III.1.3. Keseimbangan

Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan *equilibrium* baik statis maupun dinamis tubuh ketika di tempatkan pada berbagai posisi (Delitto, 2003). Keseimbangan adalah kemampuan untuk mempertahankan pusat gravitasi atas dasar dukungan, biasanya ketika dalam posisi tegak. Keseimbangan terbagi menjadi 2 yaitu statis dan dinamis<sup>(5)</sup>.

Keseimbangan statis adalah kemampuan untuk mempertahankan posisi tubuh dimana Center of Gravity (COG) tidak berubah. Contoh keseimbangan statis saat berdiri dengan satu

kaki, menggunakan papan keseimbangan. Keseimbangan dinamis adalah kemampuan untuk mempertahankan posisi tubuh dimana (COG) selalu berubah, contoh saat berjalan.

Keseimbangan merupakan integrasi yang kompleks dari system somatosensorik (visual, vestibular, proprioceptive) dan motorik (musculoskeletal, otot, sendi jaringan lunak) yang keseluruhan kerjanya diatur oleh otak terhadap respon atau pengaruh internal dan eksternal tubuh. Bagian otak yang mengatur meliputi, basal ganglia, Cerebellum, area asosiasi<sup>(6)</sup>.

*Equilibrium* adalah sebuah bagian penting dari pergerakan tubuh dalam menjaga tubuh tetap stabil sehingga manusia tidak jatuh walaupun tubuh berubah posisi. Statis *Equilibrium* yaitu kemampuan tubuh untuk menjaga keseimbangan pada posisi diam seperti pada waktu berdiri dengan satu kaki, berdiri diatas *balance board*. Dinamik *Equilibrium* adalah kemampuan tubuh untuk mempertahankan posisi pada waktu bergerak. keseimbangan bukanlah kualitas yang terisolasi, namun mendasari kapasitas kita untuk melakukan berbagai kegiatan yang merupakan kehidupan kegiatan normal sehari-hari<sup>(7)</sup>.

Banyak komponen fisiologis dari tubuh manusia memungkinkan kita untuk melakukan reaksi keseimbangan. Bagian paling penting adalah proprioception yang menjaga keseimbangan. Kemampuan untuk merasakan posisi bagian sendi atau tubuh dalam gerak<sup>(8)</sup>. Beberapa jenis reseptor sensorik di seluruh kulit, otot, kapsul sendi, dan ligamen memberikan tubuh kemampuan untuk mengenali perubahan lingkungan baik internal maupun eksternal pada setiap sendi dan akhirnya berpengaruh pada peningkatan keseimbangan. Konsep ini penting dalam pengaturan *ortopedi* klinis karena fakta bahwa meningkatkan kemampuan keseimbangan pada atlet membantu mereka untuk mencapai kinerja atletik yang unggul<sup>(9)</sup>.

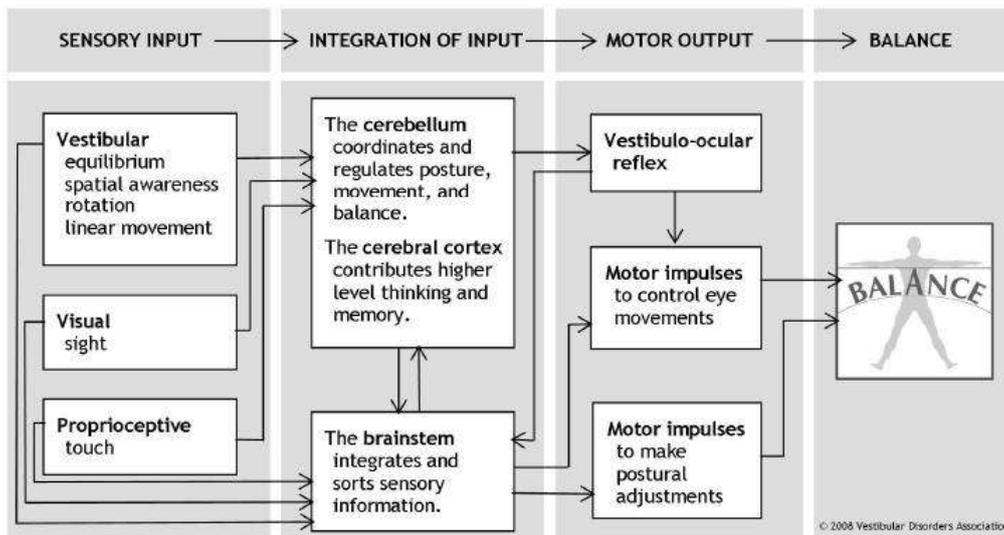
*Proprioception* dihasilkan melalui respon secara simultan, *visual*, *vestibular*, dan sistem *sensorimotor*, yang masing-masing memainkan peran penting dalam menjaga stabilitas postural. Paling diperhatikan dalam meningkatkan *proprioception* adalah fungsi dari sistem sensorimotor. Meliputi integrasi sensorik, motorik, dan komponen pengolahan yang terlibat dalam mempertahankan homeostasis bersama selama tubuh bergerak, sistem sensorimotor mencakup informasi yang diterima melalui reseptor saraf yang terletak di ligamen, kapsul sendi, tulang rawan, dan geometri tulang yang terlibat dalam struktur setiap sendi<sup>(10)</sup>.

*Mechanoreceptors* sensorik khusus bertanggung jawab secara kuantitatif terhadap peristiwa hantaran mekanis yang terjadi dalam jaringan menjadi impuls saraf. Mereka yang bertanggung jawab untuk *proprioception* umumnya terletak di sendi, tendon, ligamen, dan kapsul sendi sementara tekanan reseptor sensitif terletak di fasia dan kulit<sup>(9)</sup>.

Empat jenis utama dari *mechanoreceptors* yang membantu dalam *proprioception*

yaitu, termasuk reseptor *Ruffini*, reseptor *Pacinian*, *Golgi-tendon-organ (GTO)*, dan *muscle spindle*. *Ruffini* dan *Pacinian* reseptor berhubungan dengan sensasi sentuhan dan tekanan pada umumnya terletak di kulit<sup>(11)</sup>. Reseptor *Ruffini* dianggap sebagai reseptor statis dan dinamis berdasarkan ambang rendahnya, reseptor ini lambat-mengadaptasi karakteristik. Melalui perubahan impuls tekanan terjadi perubahan tarik statis dan dinamis pada kulit dan sangat sensitif terhadap peregangan. Reseptor *Pacinian*, agak cepat beradaptasi, namun reseptor dengan ambang batas rendah yang dianggap reseptor lebih dinamis<sup>(9)</sup>. Sementara juga sensor tekanan, reseptor *Pacinian* mendeteksi tekanan berat dan mengenali perubahan percepatan dan perlambatan gerak<sup>(11)</sup>. *Golgi tendon Organ* dan *muscle spindle* mempunyai yang lebih besar untuk mengetahui posisi sendi selama gerak. Pertama *GTOs* berada di persimpangan musculetendinous dan bertanggung jawab untuk memantau kekuatan kontraksi otot untuk mencegah otot dari kelebihan beban<sup>(8)</sup>. Terhubung ke satu set serat otot dan diinervasi oleh neuron sensorik, *GTOs* memiliki ambang batas yang tinggi dan dirangsang oleh ketegangan otot yang meningkat.

Keseimbangan tubuh dipengaruhi oleh system indera yang terdapat di tubuh manusia bekerja secara bersamaan jika salah satu system mengalami gangguan maka akan terjadi gangguan keseimbangan pada tubuh (*imbalance*), sistem indera yang mengatur/mengontrol keseimbangan seperti *visual*, *vestibular*, dan *somatosensoris (tactile & proprioceptive)*<sup>(10)</sup>.

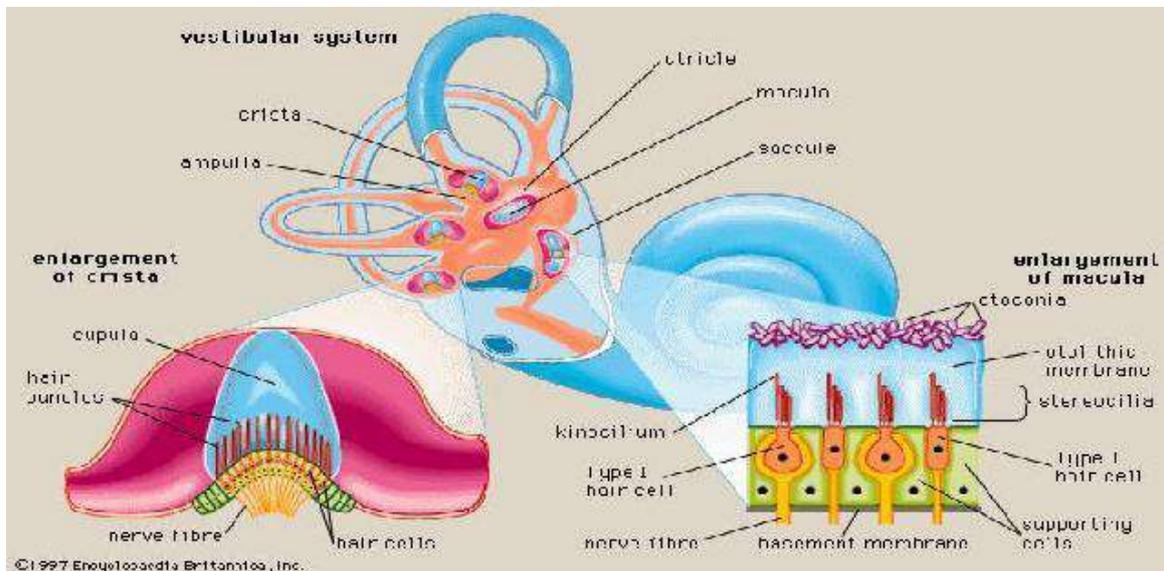


Gambar 3.2. Proses Fisiologi Terjadinya Keseimbangan<sup>(12)</sup>

### A. Sistem Vestibular

Sistem vestibular berperan penting dalam keseimbangan, gerakan kepala, dan gerak

bola mata. Sistem vestibular meliputi organ-organ di dalam telinga bagian dalam. Berhubungan dengan sistem visual dan pendengaran untuk merasakan arah dan kecepatan gerakan kepala. Sebuah cairan yang disebut *endolymph* mengalir melalui tiga kanal telinga bagian dalam sebagai reseptor saat kepala bergerak miring dan bergeser. Gangguan fungsi *vestibular* dapat menyebabkan vertigo atau gangguan keseimbangan. Alergi makanan, Dehidrasi, dan trauma kepala / leher dapat menyebabkan disfungsi *vestibular*. Melalui refleksi *vestibulo-ocular*, mereka mengontrol gerak mata, terutama ketika melihat obyek yang bergerak. kemudian pesan diteruskan melalui saraf kranialis VIII ke nukleus vestibular yang berlokasi di batang otak (*brain stem*). Beberapa stimulus tidak menuju langsung ke nukleus vestibular tetapi ke serebelum, formatio retikularis, thalamus dan korteks serebri.



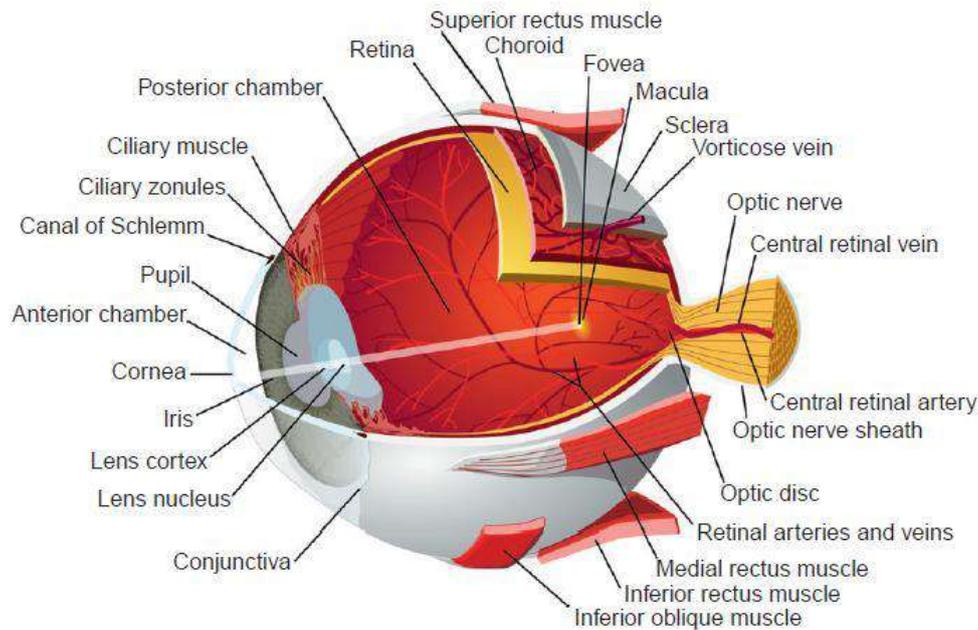
Gambar 3.3. Sistem Vestibular<sup>(13)</sup>

Nukleus vestibular menerima masukan (input) dari reseptor labyrinth, formasi (gabungan reticular), dan cerebelum. Hasil dari nukleus vestibular menuju ke motor neuron melalui medula spinalis, terutama ke motor neuron yang menginervasi otot-otot proksimal, kumparan otot pada leher dan otot-otot punggung (otot-otot postural). Sistem vestibular bereaksi sangat cepat sehingga membantu mempertahankan keseimbangan tubuh dengan mengontrol otot-otot postural<sup>(14)</sup>.

## B. Sistem Visual

Sistem visual (penglihatan) yaitu mata mempunyai tugas penting bagi kehidupan manusia yaitu memberi informasi kepada otak tentang posisi tubuh terhadap lingkungan

berdasarkan sudut dan jarak dengan obyek sekitarnya. Dengan input visual, maka tubuh manusia dapat beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi dilingkungan sehingga system visual langsung memberikan informasi ke otak, kemudian otak memerikan informasi agar system musculoskeletal (otot & tulang) dapat bekerja secara sinergis untuk mempertahankan keseimbangan tubuh. Pada gambar dibawah ini kita dapat melihat system visualisasi pada tubuh manusia<sup>(15)</sup>.



Gambar 3.4. Sistem Visual<sup>(15)</sup>

### C. Sistem Somatosensori (*Tactile & Proprioceptive*).

Sistem Somatosensori mempunyai beberapa neuron yang panjang dan saling berhubungan satu sama lainnya yang mana Sistem *Somatosensori* memiliki tiga neuron yang panjang yaitu: primer, sekunder dan tersier<sup>(10)</sup>.

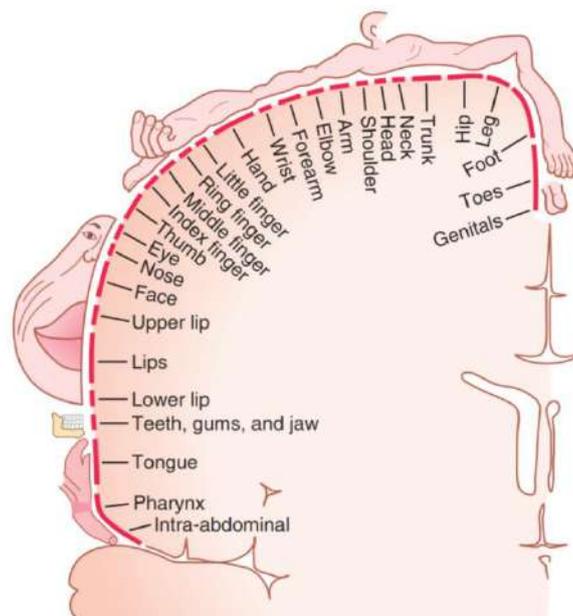
- a. *Primer Neuron*: memiliki badan sel pada dorsal root ganglion didalam saraf spinal (area sensasi berada pada daerah kepala dan leher), dimana bagian ini akan menjadi suatu terminal dari ganglia saraf trigeminal atau ganglia dari saraf sensorik kranial lainnya).
- b. *Second Neuron*: dimana neuron ini berada di medulla spinalis dan brain stem dan meiliki sel tubuh yang baik. Akson neuron ini naik ke sisi berlawanan di medulla spinalis dan brain stem, (Akson dari banyak neuron berhenti pada bagian thalamus (*Ventral Posterior nucleus*, VPN), dan yang lainnya pada *system retikuler* dan *cerebellum*).

c. *Third neuron*: Dalam hal sentuhan dan rangsangan nyeri, neuron ketiga memiliki tubuh sel dalam VPN dari thalamus dan berakhir di *gyrus postcentralis* dari lobus parietal.

Sistem somatosensori tersebar melalui semua bagian utama tubuh mamalia (dan vertebrata lainnya). Terdiri dari reseptor sensori dan motorik (afere) neuron di pinggiran (kulit, otot dan organ-organ misalnya), ke neuron yang lebih dalam dari sistem saraf pusat.

Sistem somatosensori adalah sistem sensorik yang beragam yang terdiri dari reseptor dan pusat pengolahan untuk menghasilkan modalitas sensorik seperti sentuhan, temperatur, proprioception (posisi tubuh), dan nociception (nyeri). Reseptor sensorik menutupi kulit dan epitel, otot rangka, tulang dan sendi, organ, dan sistem kardiovaskular. Informasi proprioepsi disalurkan ke otak melalui kolumna dorsalis medula spinalis. Sebagian besar masukan (input) proprioseptif menuju serebelum, tetapi ada pula yang menuju ke korteks serebri melalui lemniskus medialis dan thalamus<sup>(16)</sup>.

Kesadaran akan posisi berbagai bagian tubuh dalam ruang sebagian bergantung pada impuls yang datang dari alat indra dalam dan sekitar sendi. Alat indra tersebut adalah ujung-ujung saraf yang beradaptasi lambat di sinovia dan ligamentum. Impuls dari alat indra ini dari reseptor raba di kulit dan jaringan lain, serta otot di proses di korteks menjadi kesadaran akan posisi tubuh dalam ruang.



Gambar 3.5. Sistem Somatosensori<sup>(17)</sup>

Jika sebuah obyek/benda dalam keadaan diam, kemudian tiba-tiba sebuah gaya bekerja pada obyek/benda tersebut, maka keseimbangannya akan terganggu. Obyek tersebut akan mengalami perubahan posisi atau bergerak dari posisi semula. Prinsip mekanik yang

mendasari sifat-sifat obyek yang kaku dapat digunakan untuk mempelajari kondisi keseimbangan tubuh manusia dalam suatu posisi. Untuk setiap posisi tubuh, maka perlu untuk mengetahui :

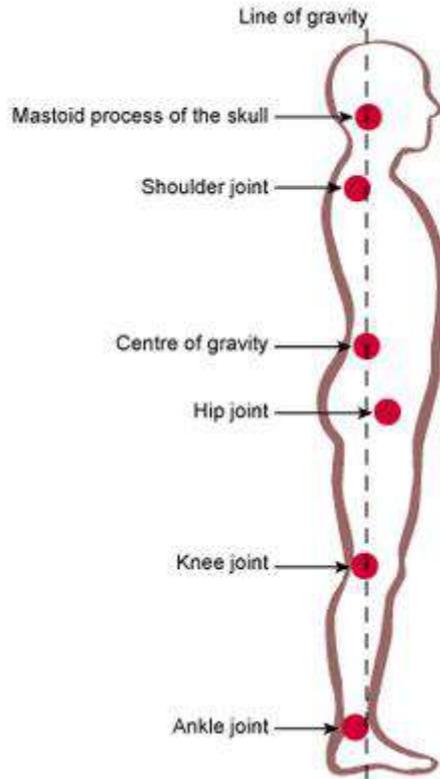
- A. Pusat gravitasi tubuh
- B. Garis gravitasi (proyeksi garis vertikal ke bawah)
- C. Bidang tumpuan (area tumpuan)
- D. Kekuatan otot.

#### A. Pusat gravitasi (*Center of Gravity/COG*)

*Center of gravity* merupakan titik gravitasi yang terdapat pada semua benda baik benda hidup maupun mati, titik pusat gravitasi terdapat pada titik tengah benda tersebut, fungsi dari *Center of gravity* adalah untuk mendistribusikan massa benda secara merata, pada manusia beban tubuh selalu ditopang oleh titik ini, maka tubuh dalam keadaan seimbang. Tetapi jika terjadi perubahan postur tubuh maka titik pusat gravitasi pun berubah, maka akan menyebabkan gangguan keseimbangan (*Unstable*). Titik pusat gravitasi selalu berpindah secara otomatis sesuai dengan arah atau perubahan berat, jika *center of gravity* terletak di dalam dan tepat ditengah maka tubuh akan seimbang, jika berada diluar tubuh maka akan terjadi keadaan unstable. Pada manusia pusat gravitasi saat berdiri tegak terdapat pada 1 inchi di depan *vertebrae sacrum II*<sup>(18)</sup>.

#### B. Garis gravitasi (*Line of Gravity-LOG*)

Garis gravitasi (*Line Of Gravity*) adalah garis imajiner yang berada vertikal melalui pusat gravitasi. Derajat stabilitas tubuh ditentukan oleh hubungan antara garis gravitasi, pusat gravitasi dengan base of support (bidang tumpu)<sup>(18)</sup>.



Gambar 3.6. *Line of Gravity*<sup>(19)</sup>

### C. Bidang tumpu (*Base of Support-BOS*)

*Base of Support* (BOS) merupakan bagian dari tubuh yang berhubungan dengan permukaan tumpuan. Ketika garis gravitasi tepat berada di bidang tumpu, tubuh dalam keadaan seimbang. Stabilitas yang baik terbentuk dari luasnya area bidang tumpu. Semakin besar bidang tumpu, semakin tinggi stabilitas. Misalnya berdiri dengan kedua kaki akan lebih stabil dibanding berdiri dengan satu kaki. Semakin dekat bidang tumpu dengan pusat gravitasi, maka stabilitas tubuh makin tinggi<sup>(20)</sup>.

### D. Kekuatan otot (*Muscle Strength*)

Kekuatan otot adalah kemampuan otot atau group otot menghasilkan tegangan dan tenaga selama usaha maksimal baik secara dinamis maupun secara statis. Kekuatan otot dihasilkan oleh kontraksi otot yang maksimal. Otot yang kuat merupakan otot yang dapat berkontraksi dan rileksasi dengan baik, jika otot kuat maka keseimbangan dan aktivitas sehari-hari dapat berjalan dengan baik seperti berjalan, lari, bekerja ke kantor, dan lain sebagainya.

## Bentuk-bentuk Keseimbangan<sup>(1)</sup>:

### 1. Keseimbangan *Indifferent* (netral).

Keseimbangan indifferen terjadi jika tubuh mengalami posisi rest dalam posisi yang baru tanpa ada perubahan pada level pusat gravitasi ketika tubuh berpindah. Misalnya pada sebuah bola yang berguling atau berputar di atas permukaan yang rata.

### 2. Keseimbangan Stabil.

Jika suatu gaya telah terjadi pada tubuh yang diam dan tubuh cenderung untuk kembali ke posisi awalnya setelah mengalami perubahan posisi, maka keseimbangan tersebut dikatakan stabil. Dalam kondisi ini, pusat gravitasi harus naik sebelum proyeksi garis gravitasi jatuh diluar dasar tumpuan. Posisi yang paling stabil pada tubuh manusia adalah posisi dimana pusat gravitasi lebih dekat dengan dasar tumpuan, seperti pada saat tubuh berbaring, dimana pusat gravitasi sangat dekat dengan dasar tumpuan dan menghasilkan energi potensial yang minimal.

### 3. Keseimbangan Labil.

Jika suatu gaya tiba-tiba bekerja pada tubuh yang diam, kemudian tubuh tersebut cenderung untuk meningkatkan perpindahannya tanpa bisa kembali ke posisi awalnya maka keseimbangan tersebut dikatakan labil. Dalam kondisi ini, pusat gravitasi akan turun sehingga proyeksi garis gravitasi jatuh diluar dasar tumpuan asal. Pada tubuh manusia, posisi yang labil adalah posisi dimana pusat gravitasi berada jauh di atas dasar tumpuan dan dasar tumpuan yang kecil.

### 4. Keseimbangan Metastabil.

Pada keadaan ini, pusat gravitasi atau titik berat tubuh selalu berpindah-pindah baik ke atas maupun ke bawah setiap terjadi perubahan posisi. Keseimbangan ini terjadi pada saat tubuh dalam keadaan dinamis (bergerak), seperti berjalan di atas titian bambu/balok, bermain ski, dan lain-lain.

Dalam sistem gaya, untuk menghitung besarnya gaya yang bekerja pada otot dalam keadaan statis, maka digunakan prinsip keseimbangan yaitu  $\Sigma M = 0$  dan  $\Sigma F = 0$ , dimana momen gaya yang searah jalan jam diberi label (+), sedangkan yang berlawanan arah jalan jam diberi label (-).  $\Sigma M = 0 \rightarrow M_1 - M_2 = 0$  atau  $(F_w \times d_w) - (F_{otot} \times d_{otot}) = 0$ . Kaitannya dengan Resisted Exercise dan Asisted Exeercise, maka efektifitas gaya yang dihasilkan bergantung pada :

- Jarak titik aplikasi R / A dari fulcrum
- Sudut tahanan atau asisted

Dengan demikian, semakin panjang lengan gaya yang teraplikasikan maka semakin besar efektifitas gaya yang dihasilkan. Stabilitas suatu tubuh bergantung pada<sup>(1)</sup>:

1. Luasnya bidang/dasar tumpuan ; semakin luas dasar tumpuan maka stabilitasnya semakin tinggi
2. Letak titik berat tubuh terhadap dasar tumpuan ; semakin tinggi titik berat tubuh dari dasar tumpuan maka stabilitasnya semakin rendah, dan sebaliknya.
3. Proyeksi titik berat tubuh ke dasar tumpuan ; semakin dekat proyeksi titik berat tubuh (proyeksi garis gravitasi) ke pusat dasar tumpuan maka stabilitasnya semakin tinggi, begitu pula sebaliknya
4. Berat tubuh ; tubuh yang mempunyai massa yang lebih besar akan lebih stabil daripada tubuh yang bermassa kecil.

Untuk mencapai stabilitas yang tinggi, maka :

- a. Titik berat tubuh terletak lebih rendah atau dekat sekali dengan dasar tumpuan.
- b. Proyeksi garis gravitasi jatuh dekat atau pada pusat dasar tumpuan.
- c. Dasar tumpuan yang luas.
- d. Berat badan yang relatif besar.

### III.1.4. Usaha dan Energi

#### III.1.4.1. Usaha

Jika ada suatu gaya yang bekerja (kontraksi otot) terhadap sebuah obyek/benda sehingga benda tersebut bergerak melalui suatu jarak tertentu disebut dengan Usaha. Dengan demikian, dapat dinyatakan dengan rumus<sup>(1)</sup>:

$$W = F \times s$$

W = Usaha (Nm atau *Joule*)

F = Gaya (Newton atau N)

s = jarak (Meter atau m)

Usaha yang dihasilkan oleh kontraksi otot yang secara aktif memendek untuk menggerakkan beban eksternal disebut dengan Usaha yang Positif. Sedangkan usaha yang dihasilkan oleh gaya eksternal seperti gaya gravitasi dan otot dalam keadaan aktif memanjang disebut dengan Usaha yang Negatif.

Ketika otot berkontraksi untuk menggerakkan suatu obyek/benda tetapi obyek/benda tersebut tidak bergerak (terjadi kontraksi isometrik), maka dalam pengertian mekanikal tidak

ada usaha yang terjadi. Oleh karena itu, dalam fisiologi kita tidak mengatakan usaha statis melainkan kontraksi otot statis.

### III.1.4.2. Energi

Energi adalah kapasitas suatu obyek untuk melakukan usaha. Energi adalah salah satu bentuk usaha dan satuannya juga Joule ( $J = N.m$ ). Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Energi kimia yang digunakan untuk menghasilkan kontraksi otot akan diubah kedalam energi mekanik dan energi panas. Energi mekanik mempunyai 2 bentuk energi, yaitu:

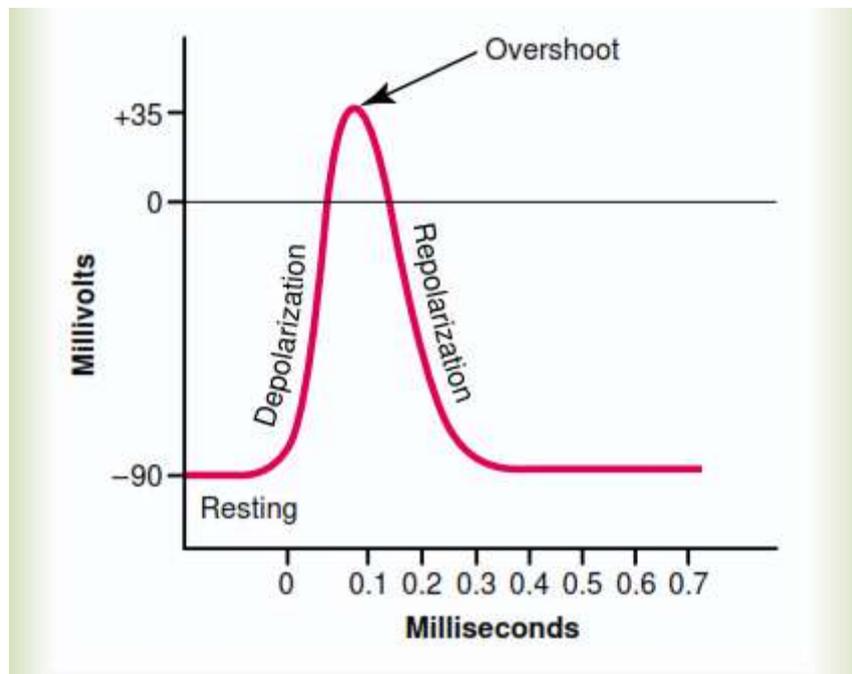
- a. Energi Kinetik, yaitu suatu energi dari tubuh manusia yang dihasilkan oleh gerakan tubuh tersebut. Hanya tubuh yang bergerak memiliki energi kinetik. Banyaknya energi yang dimiliki oleh tubuh bergantung pada kecepatan gerakannya. Oleh karena itu, jika lebih banyak otot yang berkontraksi selama gerakan sehingga kecepatan gerakannya meningkat, maka segmen tubuh yang bergerak tersebut akan memiliki peningkatan kapasitas untuk melakukan usaha, dan segmen tubuh tersebut mempunyai energi kinetik yang tinggi. Energi kinetik ditentukan oleh 2 faktor yaitu: massa dan kecepatan, sehingga dapat dirumuskan  $E_{kin} = \frac{1}{2} m.v^2$ .
- b. Energi Potensial, yaitu energi yang dimiliki oleh tubuh manusia, yang disebabkan oleh posisi tubuh tersebut atau adanya deformasi. Sebagai contoh, seseorang yang sedang berdiri diatas peti mempunyai energi potensial yang lebih besar daripada seseorang yang hanya berdiri diatas lantai. Hal ini terjadi karena seseorang yang berdiri di atas peti akan melakukan usaha yang tinggi untuk melawan gaya berat (gaya gravitasi) sehingga memiliki energi potensial yang tinggi. Dengan demikian, dapat dinyatakan dalam rumus:  
 $E_{pot.} = m.g.h.$

## III.2. Depolarisasi dan Repolarisasi

### III.2.1. Pengertian Depolarisasi dan Repolarisasi

Dalam sistem saraf terdapat istilah polarisasi, depolarisasi, dan repolarisasi. Polarisasi adalah keadaan dimana saraf sedang istirahat (*resting stage*) atau keadaan dimana saraf tidak sedang menjalankan rangsang. Potensial membrane pada keadaan polarisasi menunjukkan -90 milivolts. Pada keadaan ini muatan yang lebih negatif berada di sisi dalam membran sedangkan muatan yang lebih positif berada di sisi luar membran. Membran sel saraf bersifat impermeabel terhadap ion natrium dan permeabel terhadap ion kalium. Potensial yang dapat diterima membran saraf dalam keadaan istirahat berbeda-beda tergantung pada jenis selnya.

Hal ini menunjukkan keadaan elektrolis antara sisi dalam membran dengan sisi luar membran. Perbedaan potensial tersebut disebabkan oleh adanya distribusi ion natrium dan kalium yang tidak seimbang di antara kedua sisi membran sel saraf. Besarnya potensial membran yang diukur saat sel dalam keadaan istirahat ini disebut potensial membrane<sup>(17)</sup>.



Gambar 3.7. Potensial membrane<sup>(17)</sup>

Depolarisasi adalah keadaan dimana saraf sedang menjalankan rangsang. Pada keadaan ini muatan yang lebih negatif berada di sisi luar membran sedangkan muatan yang lebih positif berada di sisi dalam membran. Membran sel saraf bersifat impermeabel terhadap ion kalium dan permeabel terhadap ion natrium sehingga ion (Na) berdifusi dan ion (K) ditahan. Dalam keadaan ini pula dikenal istilah potensial aksi, yaitu potensial membran yang diukur pada saat sel terdepolarisasi. Masuknya ion Na yang bermuatan positif mengakibatkan meningkatnya potensial membrane dari -90 milivolts menjadi +35 milivolts yang dikenal dengan istilah “overshoot”. Proses ini terjadi jika terdapat rangsangan yang akan menjadi impuls bagi saraf. Impuls dapat dikatakan sebagai “aliran listrik” yang merambat pada serabut saraf. Impuls dapat dihantarkan melalui sel saraf dan sinapsis. Impuls melalui sel saraf terjadi karena adanya perbedaan potensial listrik antara bagian luar dan bagian dalam serabut saraf sehingga impuls merambat sesuai aliran listrik. Impuls melalui sinapsis terjadi karena adanya neurotransmitter, yaitu senyawa kimia yang menghantarkan impuls di dalam sinapsis. Impuls diterima neurotransmitter di membran presinapsis kemudian

neurontransmitter menyebrangi celah sinapsis menuju membran postsinapsis. Membran postsinapsis mengalami depolarisasi dan impuls diteruskan ke serabut saraf berikutnya. Perjalanan impuls melalui sinaps disebut transmisi. Terdapat dua jenis perjalanan impuls melalui sinapsis, pertama melalui sinaps elektrik sehingga disebut transmisi elektrik dan kedua melalui sinaps kimia sehingga disebut transmisi kimiawi<sup>(17)</sup>.

Repolarisasi disebut juga sebagai periode kembali setelah saraf mengalami depolarisasi. Repolarisasi merupakan tahapan yang paling penting bagi sel. Potensial membrane pada repolarisasi dari overshoot akan menurun hingga kembali kedalam keadaan resting yaitu potensial membrane -90 milivolt. Diantara depolarisasi dan repolarisasi terdapat satu periode yang disebut sebagai periode refrakter, yaitu periode waktu tertentu saat sel saraf tidak dapat menanggapi rangsang yang diberikan untuk kedua kalinya. Terdapat dua jenis periode refrakter, yaitu<sup>(17)</sup>:

Periode refrakter absolut ialah jangka waktu tertentu saat sel saraf benar-benar tidak dapat menanggapi rangsang yang diberikan untuk kedua kalinya, apapun jenis rangsangannya dan berapa pun kekuatan rangsang yang diberikan. Periode ini biasanya berlangsung pada awal repolarisasi.

Periode refrakter relatif ialah jangka waktu pada akhir repolarisasi, yang mana sel saraf kemungkinan sudah dapat kembali menanggapi rangsang, asalkan rangsang yang diberikan lebih kuat daripada rangsang sebelumnya atau jenis rangsangannya berbeda.

### **III.2.2. Keseimbangan Depolarisasi dan Repolarisasi**

Dalam sistem saraf juga terdapat keseimbangan yang diatur oleh tubuh sedemikian sempurnanya. Sebuah sel saraf saat menyalurkan potensial aksi akan mencetuskan depolarisasi pada setiap membrane selnya dan menekan terjadinya repolarisasi. Pada saat depolarisasi maksimal telah tercapai, kemudian repolarisasi membrane sel akan terjadi dan menekan depolarisasi pada membrane tersebut. Keseimbangan tersebut terjadi secara harmonis dan teratur<sup>(17)</sup>.

### **III.3. Simpatis dan Parasimpatis**

#### **III.3.1. Pengertian Sistem Saraf Simpatis dan Parasimpatis**

Sistem saraf dibagi menjadi dua, yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat dibagi lagi menjadi otak dan medula spinalis. Sedangkan sistem saraf tepi dibagi menjadi saraf somatik dan saraf otonom. Bagian sistem saraf yang mengatur fungsi viseral

tubuh disebut sistem saraf otonom. Sistem ini membantu mengatur tekanan arteri, motilitas dan sekresi gastrointestinal pengosongan kandung kemih, berkeringat suhu tubuh dan banyak aktivitas lainnya. Sistem saraf otonom juga berperan pada sistem penglihatan normal seperti cabang parasimpatis berperan pada fungsi lakrimasi, dan ukuran pupil dikontrol oleh keseimbangan antara persarafan simpatis untuk otot dilator iris dan parasimpatis untuk otot sfingter iris<sup>(22)</sup>.

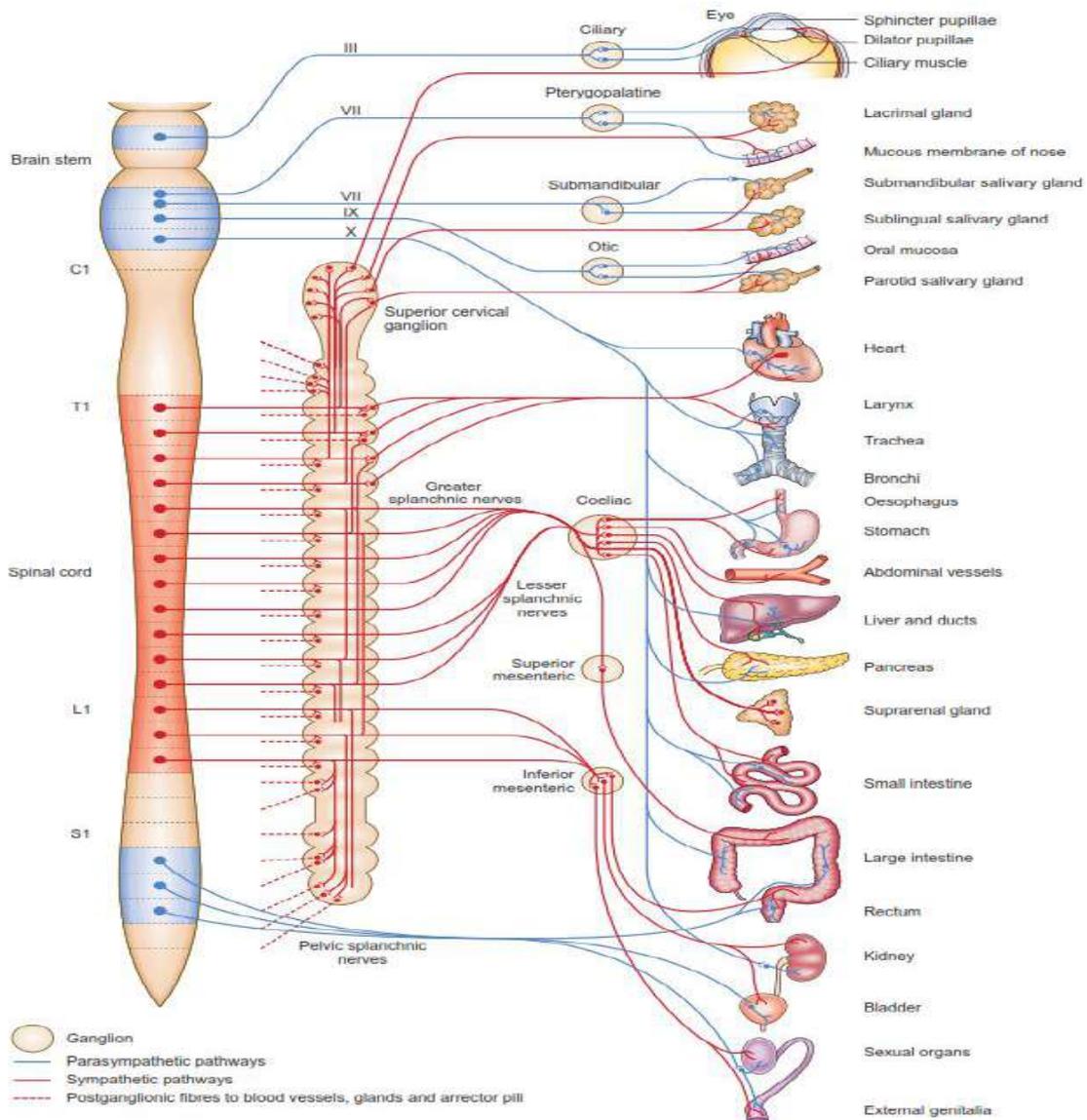
Sistem saraf otonom terutama diaktifkan oleh pusat-pusat yang terletak di medula spinalis, batang otak, dan hipotalamus. Juga, bagian korteks serebri khususnya korteks limbik, dapat menghantarkan impuls ke pusat-pusat yang lebih rendah sehingga mempengaruhi pengaturan otonomik. Sistem saraf otonom terdiri dari dua subsistem yaitu sistem saraf simpatis dan sistem saraf parasimpatis yang kerjanya saling berlawanan<sup>(22)</sup>.

### **III.3.2. Anatomi Sistem Saraf Simpatis**

Sistem saraf simpatis dimulai dari medula spinalis segmen torakolumbal (torak 1 sampai lumbal 2). Serabut-serabut saraf ini melalui rangkaian paravertebral simpatetik yang berada disisi lateral korda spinalis yang selanjutnya akan menuju jaringan dan organ-organ yang dipersarafi oleh sistem saraf simpatis. Tiap saraf dari sistem saraf simpatis terdiri dari satu neuron preganglion dan saraf postganglion. Badan sel neuron preganglion berlokasi di intermediolateral dari korda spinalis. Serabut saraf simpatis vertebra ini kemudian meninggalkan korda spinalis melalui rami putih menjadi salah satu dari 22 pasang ganglia dari rangkaian paravertebral simpatik<sup>(22)</sup>.

### **III.3.2. Anatomi Sistem Saraf Parasimpatis**

Saraf dari sistem saraf parasimpatis meninggalkan sistem saraf pusat melalui saraf-saraf kranial III, VII, IX dan X serta saraf sakral spinal kedua dan ketiga; kadangkala saraf sakral pertama dan keempat. Kira-kira 75% dari seluruh serabut saraf parasimpatis didominasi oleh nervus vagus (saraf kranial X) yang melalui daerah torakal dan abdominal, seperti diketahui nervus vagus mempersarafi jantung, paru-paru, esophagus, lambung, usus kecil, hati, kandung kemih, pankreas, dan bagian atas uterus. Serabut saraf parasimpatis nervus III menuju mata, sedangkan kelenjar air mata, hidung, dan glandula submaksilla menerima innervasi dari saraf kranial VII, dan glandula parotis menerima innervasi dari saraf kranial IX<sup>(22)</sup>.



Gambar 3.8. Sistem Saraf Otonom<sup>(23)</sup>

### III.3.3. Efek Perangsangan Simpatis dan Parasimpatis pada Organ Spesifik

#### 1. Mata

Ada dua fungsi mata yang diatur oleh sistem saraf otonom, yaitu dilatasi pupil dan pemusatan lensa. Perangsangan simpatis membuat serat-serat meridional iris berkontraksi sehingga pupil menjadi dilatasi, sedangkan perangsangan parasimpatis mengkontraksikan otot-otot sirkular iris sehingga terjadi konstiksi pupil. Bila ada cahaya yang berlebihan masuk kedalam mata, serat-serat parasimpatis yang mengatur pupil akan terangsang secara refleks, dimana refleks ini akan mengurangi pembukaan pupil dan mengurangi jumlah cahaya yang membentur retina. Sebaliknya selama periode eksitasi, saraf simpatis akan terangsang dan karena itu, pada saat yang bersamaan akan

menambah pembukaan pupil. Pemusatan lensa hampir seluruhnya diatur oleh sistem saraf parasimpatis. Normalnya, lensa dipertahankan tetap dalam keadaan rata oleh tegangan intrinsik elastik dari ligamen radialnya. Perangsangan parasimpatis membuat otot siliaris berkontraksi, sehingga melepaskan tegangan tadi dan menyebabkan lensa menjadi lebih konveks. Keadaan ini membuat mata memusatkan objeknya dekat tangan<sup>(22)</sup>.

## 2. Jantung

Pada umumnya, perangsangan simpatis akan meningkatkan seluruh aktivitas jantung. Keadaan ini tercapai dengan naiknya frekuensi dan kekuatan kontraksi jantung. Perangsangan parasimpatis terutama menimbulkan efek yang berlawanan. Akibat atau pengaruh ini dapat diungkapkan dengan cara lain, yakni perangsangan simpatis akan meningkatkan keefektifan jantung sebagai pompa yang diperlukan selama kerja berat, sedangkan perangsangan parasimpatis menurunkan kemampuan pemompaan tetapi menimbulkan beberapa tingkatan istirahat pada jantung di antara aktivitas kerja yang berat<sup>(22)</sup>.

## 3. Pembuluh darah sistemik

Sebagian besar pembuluh darah sistemik, khususnya yang terdapat di visera abdomen dan kulit anggota tubuh, akan berkonstriksi bila ada perangsangan simpatis. Perangsangan parasimpatis hampir sama sekali tidak berpengaruh pada pembuluh darah, kecuali pada daerah-daerah tertentu malah memperlebar, seperti pada timbulnya daerah kemerahan di wajah. Pada beberapa keadaan, fungsi rangsangan simpatis pada reseptor beta akan menyebabkan dilatasi pembuluh darah pada rangsangan simpatis yang biasa, tetapi hal ini jarang terjadi, kecuali setelah diberi obat-obatan yang dapat melumpuhkan reseptor alfa simpatis yang memberi pengaruh vasokonstriktor, yang biasanya lebih merupakan efek reseptor beta<sup>(22)</sup>.

### **III.3.4. Efek Perangsangan Simpatis dan Parasimpatis terhadap Tekanan Arteri**

Tekanan arteri ditentukan oleh dua faktor, yaitu daya dorong darah dari jantung dan tahanan terhadap aliran darah ini yang melewati pembuluh darah. Perangsangan simpatis meningkatnya daya dorong oleh jantung dan tahanan terhadap aliran darah, yang biasanya menyebabkan tekanan menjadi sangat meningkat. Sebaliknya, perangsangan parasimpatis menurunkan daya pompa jantung tetapi sama sekali tidak mempengaruhi tahanan perifer. Efek yang umum adalah terjadi sedikit penurunan tekanan. Ternyata perangsangan

parasimpatis vagal yang hampir selalu dapat menghentikan atau kadang-kadang menghentikan seluruh jantung dan menyebabkan hilangnya seluruh atau sebagian besar tekanan<sup>(22)</sup>.

### **III.3.5. Efek Perangsangan Simpatis dan Parasimpatis terhadap Fungsi Tubuh Lainnya**

Begitu pentingnya sistem pengaturan simpatis dan parasimpatis, maka kedua sistem ini dibicarakan mengingat banyaknya fungsi tubuh yang belum dapat ditentukan secara rinci. Pada umumnya sebagian besar struktur entodermal, seperti hati, kandung empedu, ureter, kandung kemih, dan bronkus dihambat oleh perangsangan simpatis namun dirangsang oleh perangsangan parasimpatis. Perangsangan simpatis juga mempunyai pengaruh metabolik, yakni menyebabkan pelepasan glukosa dari hati, meningkatkan konsentrasi gula darah, meningkatkan proses *glikogenolisis* dalam hati dan otot, meningkatkan kekuatan otot, meningkatkan kecepatan metabolisme basal, dan meningkatkan aktivitas mental. Akhirnya, perangsangan simpatis dan parasimpatis juga terlibat dalam tindakan seksual antara pria dan wanita<sup>(22)</sup>.

### **III.3.6. Keseimbangan Simpatis Dan Parasimpatis**

Sistem simpatis seringkali memberikan respon terhadap pelepasan impuls secara massal ini disebut pelepasan impuls masal (*mass discharge*). Pada saat lainnya, aktivasi simpatis dapat terjadi pada bagian sistem yang terisolasi, terutama sebagai respons terhadap refleksi yang melibatkan medula spinalis tetapi tidak melibatkan otak. Sistem parasimpatis biasanya menyebabkan respon setempat yang spesifik, berbeda dengan respon yang umum dari sistem simpatis terhadap pelepasan impuls secara masal, maka fungsi pengaturan sistem parasimpatis sepertinya jauh lebih spesifik<sup>(22)</sup>.

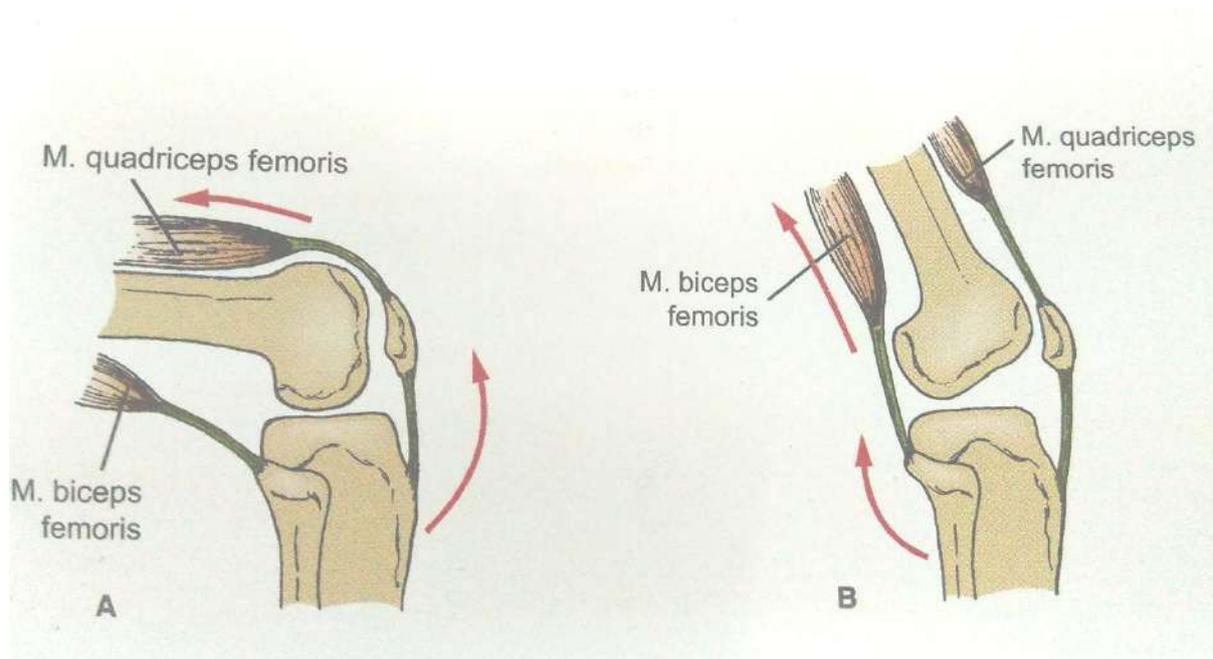
Maka sistem otonom ini saling melengkapi satu dengan lainnya, bila sistem simpatis terpicu maka sistem parasimpatis tertekan, begitu sebaliknya. Salah satu keseimbangan dalam tubuh adalah adanya sistem saraf autonom yang bekerja secara berlawanan, bila salah satunya terpicu maka yang satunya akan tertekan atau tidak bereaksi. Kerja yang berlawanan ini menimbulkan harmonisasi yang sangat indah pada sistem saraf autonom.

### **III.4. Otot Agonis-antagonis**

Semua gerakan merupakan akibat dari kerja yang terkoordinasi dari banyak otot. Otot dapat bekerja sebagai agonis maupun antagonis.

Otot agonis atau penggerak utama adalah sebuah atau sekelompok otot yang bertanggung jawab untuk pergerakan tertentu. Contohnya, *musculus quadriceps femoris* adalah penggerak utama pada pergerakan ekstensi sendi lutut.

Antagonis adalah setiap otot yang bekerja berlawanan dengan otot agonis. Contohnya *musculus biceps femoris* bekerja berlawanan dengan *musculus quadriceps femoris* pada pergerakan ekstensi sendi lutut. (Gambar 3.1). Sebelum penggerak utama dapat berkontraksi, otot antagonis harus dalam keadaan relaksasi yang seimbang, yang dilakukan oleh inhibisi refleks saraf<sup>(24,25)</sup>.



Gambar 3.9. Berbagai kerja otot. A. *Musculus quadriceps femoris* mengekstensikan sendi lutut sebagai otot penggerak utama dan *musculus biceps femoris* sebagai otot antagonis. B. *Musculus biceps femoris* memfleksikan sendi lutut sebagai otot penggerak utama dan *musculus quadriceps femoris* sebagai otot antagonis<sup>(24)</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Tipler, Paul A., 1998. *Fisika (Untuk Sains dan Teknik)*. Jakarta: Erlangga.
2. Hall., 2003. *Basic Biomechanics*. 4th Edition. New York: McGraw-Hill Company.
3. Gabriel, J.F., 1996. *Fisika Kedokteran*. Jakarta: EGC.
4. Soedarminto., 1992. *Kinesiologi*. Jakarta: Depdikbud Dirjen Dikti.
5. Abrahamova D., Hlavacka F., 2008. "Age-Related Changes of Human Balance during Quiet Stance". *Physiological Research*. 2008. Institute of Physiology VVI., Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic.
6. Batson G., 2009. Update On Proprioception Considerations For Dance Education. *Journal Of Dance Medicine And Science*. Vol. 13(2).

7. Huxham, F.E., Goldie, P.A., and Patla, A.E., 2001. "Theoretical considerations in balance Assessment". *Australian Journal of Physiotherapy*. 47: 89-100.
8. Brown, S.P., Miller, W.C., & Eason, J.M., 2006. Neuroanatomy and Neuromuscular Control of Movement. *Exercise physiology: Basis of human movement in health and disease*. Philadelphia Lippincott Williams & Wilkins. 217-246.
9. Riemann, B.L., & Lephart, S.M., 2002. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1): 80-84.
10. Sherwood, Lauralee., 2001. *Fisiologi Manusia Dari Sel Ke Sistem*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
11. Shier, D., Butler, J., & Lewis, R., 2004. *Somatic and Special Senses. Hole's Human Anatomy and Physiology*. 10th ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 421-466.
12. Hanes, D.A., & McCollum, G., 2006. Cognitive-Vestibular Interactions: A Review Of Patient Difficulties and Possible Mechanisms. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium and Orientation*. 16(3): 75-91.
13. Nathan, P. W., 2016. *Human Nervous System: Vestibular System*. Dikutip dari <http://www.britannica.com/science/human-nervous-system/images-videos/The-membranous-labyrinth-of-the-vestibular-system-which-contains-the/68878> pada tanggal 25 Mei 2016.
14. Watson, M. A, and Black, F. A., 2008. "*The Human Balance System*" *A Complex Coordination Of Central And Peripheral Systems By The Vestibular Disorders Association*. Dikutip dari [http://vestibular.org/sites/default/files/page\\_files/Human%20Balance%20System.pdf](http://vestibular.org/sites/default/files/page_files/Human%20Balance%20System.pdf) pada tanggal 28 Mei 2016.
15. Galetta, S.L., Prasad, S., 2011. *Anatomy and Physiology of the Afferent Visual System*. USA: Handbook of Clinical Neurology: 102.
16. Willis Jr, W. D., 2007. *The Somatosensory System, With Emphasis on Structures Important for Pain. Department Of Neuroscience and Cell Biology*. University of Texas Medical Branch, 301 University Blvd., Galveston, TX 77555-1069, USA. *Brain Research Reviews* 55 (2007): 297–313.
17. Guyton, A.C., dan Hall, J.E., 2008. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 11. Jakarta: EGC.
18. Bishop, R.D., & Hay, J.G., 2009. Basketball: the Mechanics of Hanging in the Air. *Medicine and Science in Sports*, 11 (3): 274-277.
19. Follow organisation procedures, for a particular task, to minimise risk of injury. Dikutip dari [https://sielearning.tafensw.edu.au/MCS/9362/Sterilisation%20disk%201o/7350/7350\\_00.htm](https://sielearning.tafensw.edu.au/MCS/9362/Sterilisation%20disk%201o/7350/7350_00.htm) pada tanggal 26 Mei 2016.
20. Wen Chang, Yi, Hong-Wen Wu, Wei Hung, Yen-Chen Chiu., 2009. Postural Responses in Various Bases of Support and Visual Conditions in the Subjects with Functional Ankle Instability. *International Journal of Sport and Exercise Science*, 1(4): 87-92.
21. Sherwood, Lauralee., 2001. *Fisiologi Manusia Dari Sel Ke Sistem*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
22. Collins, V. J., 1996. *Physiologic and Pharmacologic Bases of Anesthesia, Autonomic Nervous System*. Vol.:281-301.
23. Drake, R.L., Vogl, W., and Mitchell, A. W. M., 2008. *Gray's Anatomy for Students*. 40th ed. London: Churchill Livingstone. Hal 81-125.

24. Snell, R.S., 2008. *Anatomi Klinik Berdasarkan Sistem*. Alih Bahasa oleh Liliana Sugiharto, dkk. Jakarta: EGC.
25. Neuman, D.A., 2010. *Kinesiology of the Musculoskeletal System Foundations for Rehabilitation*. 2<sup>nd</sup> edition. Missouri: Mosby Elsevier.

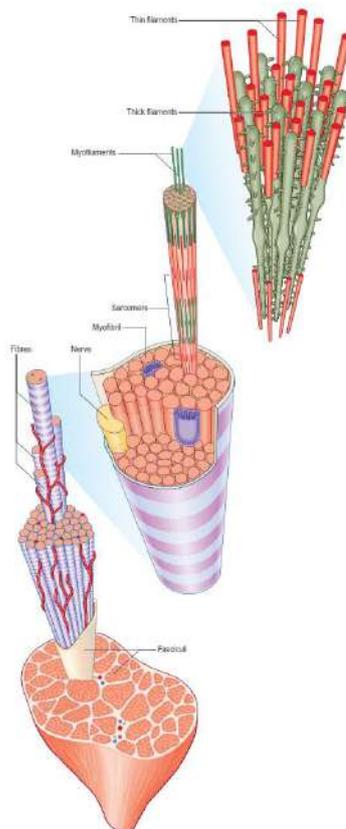
## BAB IV

### OTOT RANGKA

#### IV.1. Anatomi dan Histologi

##### IV.1.1. Penggolongan jaringan otot

Otot adalah jaringan yang terbesar dalam tubuh. Terdapat 3 tipe otot yakni otot rangka, otot polos, dan otot jantung. Ketiganya dikelompokkan lagi menjadi 2 tipe yaitu otot lurik dan otot polos. Otot rangka dan otot jantung disebut otot lurik, karena filament aktin dan myosin tersusun secara teratur dan berulang dimana memberikan gambaran bergaris (lurik) secara mikroskopis sedangkan otot polos memiliki filament dalam jumlah yang sedikit namun tidak tersusun teratur. Empat puluh persen dari berat badan manusia terdiri dari otot rangka, serta 10 % terdiri dari otot polos dan otot jantung. Otot polos terdapat pada dinding saluran cerna, saluran kemih, uterus, dan pembuluh darah; sedangkan otot jantung hanya terdapat pada jantung<sup>(1)</sup>.



Gambar 4.1. Serabut Otot<sup>(1)</sup>

#### **IV.1.2. Jaringan Otot Rangka**

Otot rangka membentuk sebagian besar jaringan otot tubuh dan terdiri dari serat otot yang panjang dengan inti banyak yang terdapat di tepi sel otot. Otot rangka mampu berkontraksi dengan kuat (sekitar 100 watt per kilogram) karena memiliki protein filament yang kompleks dan teratur. Namun kontraksi yang kuat tersebut mengakibatkan otot rangka membutuhkan asupan energi dan oksigen yang besar dari pada otot jantung maupun otot polos. Otot rangka dipersarafi oleh saraf motorik somatik disebut juga otot volunter (disadari)<sup>(1)</sup>.

Serat otot tersusun parallel satu sama lain, dengan ruang intersellular di antaranya memuat susunan parallel kapiler kontinu. Diameter serat otot rangka bervariasi antara 10 sampai 100 mikrometer, tetapi serat yang hipertropi dapat melebihi angka tersebut. Otot rangka berwarna merah muda hingga merah karena memiliki suplai vaskuler yang banyak dan terdapat pigmen mioglobin<sup>(2)</sup>.

#### **IV.1.3. Pembentukan Otot Rangka**

Pembentukan otot rangka dimulai dari terbentuknya myotube dari myoblast pada perkembangan embrional. Myoblast mula-mula berbaris dari ujung ke ujung dan berfusi satu sama lain dan membentuk myotube. Serat otot tidak bisa terbagi lagi setelah mengalami fusi ini. Pertumbuhan otot setelah lahir berlangsung secara hipertrofi (perbesaran sel yang sudah ada). Myotube ini membentuk konstituen pada sitoplasma dan elemenelemen kontraktil yang disebut myofibril. Myofibril berukuran 1-2 mikrometer. Komposisi myofibril adalah protein-protein bernama myofilamen yang merupakan penyebab kontraktilitas sel<sup>(2)</sup>.

Sebagian myoblast tidak berfusi dengan serat otot yang sedang berkembang, tetapi bertahan pada jaringan otot dewasa sebagai sel satelit/myosatelit. Sel myosatelit dapat membesar, membagi diri, dan berfusi dengan serat otot yang rusak dalam rangka reparasi jaringan bila terjadi kerusakan. Akan tetapi, regenerasi serat otot bersifat terbatas karena jumlah serat yang baru dibentuk tidak cukup untuk menutupi kerusakan atau degenerasi. Pada kasus seperti ini, jaringan otot rangka akan mengganti serat-serat otot dengan jaringan parut (mengalami fibrosis)<sup>(3)</sup>.

Susunan serat-serat otot bersifat paralel. Ruang antarsel berisi continuous capillaries yang juga tersusun secara paralel. Setiap otot skelet tampak panjang, silindris, memiliki banyak inti, dan lurik (bergaris-garis). Diameter ini mempengaruhi kemampuan kontraksi

serat otot, sedangkan kemampuan kontraksi otot secara keseluruhan dipengaruhi oleh ketebalan dan jumlah serat-seratnya<sup>(2)</sup>.

#### **IV.1.4. Jaringan Ikat Pada Otot Rangka**

Otot dipisahkan dari kulit oleh hipodermis atau lapisan subkutan. Lapisan ini terdiri dari jaringan ikat aerolar dan jaringan adiposa. Lapisan ini juga memberikan jalur keluar-masuk pembuluh darah, saraf, dan pembuluh limfa. Jaringan adiposa pada lapisan subkutan membantu menangkal hilangnya panas dan melindungi otot dari trauma fisik. Kebanyakan trigliserida pada tubuh disimpan pada jaringan adiposa ini. Otot dikelilingi oleh fascia, jaringan ikat padat yang juga mengelilingi organ lain pada tubuh<sup>(3)</sup>.

Terdapat tiga lapisan jaringan ikat yang memperkuat dan melindungi otot rangka di luar fascia. Lapisan paling luar adalah epimisium yang membungkus seluruh otot. Turunan epimisium, perimisium, mengelilingi berkas fasikulus serat otot yang berisi 10 sampai 100 serat otot. Setiap sel otot dikelilingi oleh lamina eksternal dan endomisium. Endomisium terdiri dari lapisan tipis jaringan ikat areolar, berbeda dengan perimisium dan epimisium yang merupakan jaringan ikat padat ireguler.3 Kontraksi dapat timbul karena saling terhubungnya semua jaringan ikat ini. Jaringan pengikat otot berkelanjutan pula dengan tendon (sekumpulan jaringan ikat padat yang tersusun atas serat kolagen yang membuat otot menempel pada tulang) dan aponeurosis (perluasan jaringan ikat menjadi datar dan lebar)<sup>(2)</sup>.

Beberapa jenis tendon dikelilingi oleh jaringan ikat yang bernama tendon (synovial) sheaths. Jaringan ini memiliki ruang antara dua lapisannya yang berisi cairan sinovial dan berguna untuk mengurangi gesekan. Contoh tendon yang memiliki ciri-ciri ini adalah tendon pada pergelangan tangan dan pergelangan kaki<sup>(3)</sup>.

#### **IV.1.5. Penampakan Mikroskopis Serat Otot**

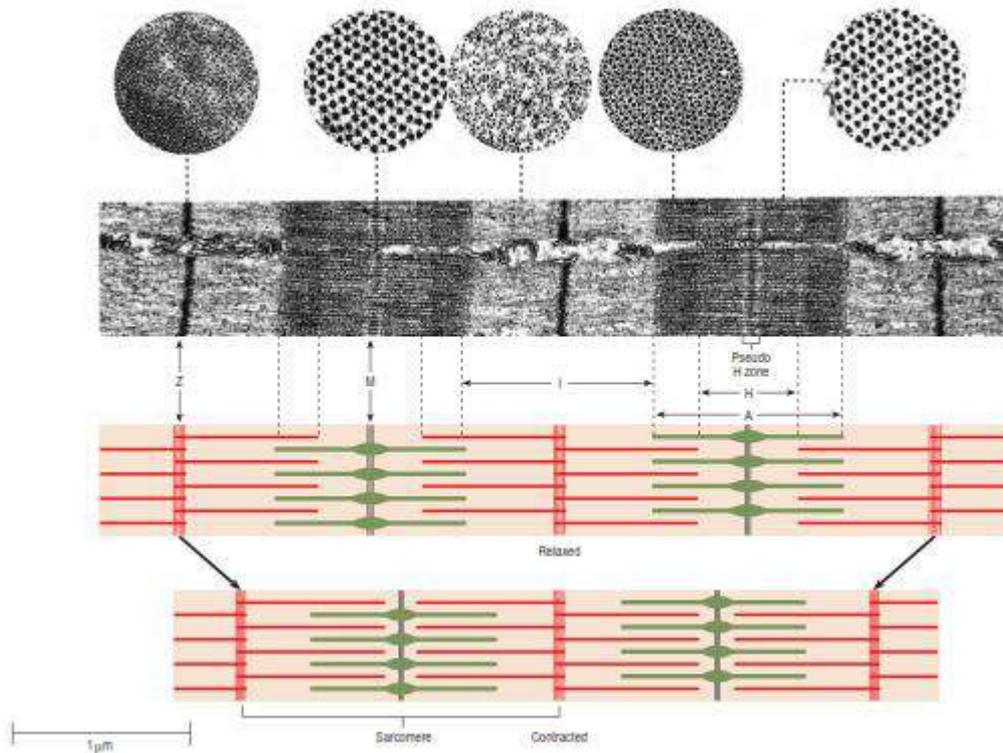
Serat otot memiliki diameter mulai 10 sampai 100 mikrometer dan biasanya memiliki panjang 10cm, walaupun ada juga yang panjangnya 30cm. Serat otot memiliki banyak inti sel (100 atau lebih) karena berasal dari banyak myoblast yang bergabung. Inti-inti serat otot terletak langsung di dalam membran sel. Pada permukaan sel terdapat depresi dangkal yang ditempati oleh sel satelit/myosatelit yang hanya memiliki satu nukleus. Serat otot dapat berkontraksi secara bersamaan berkat distribusi sinyal yang cepat di sepanjang sel. Konduksi sinyal ini diperantarai oleh tubulus T atau tubulus transversus yang merupakan hasil invaginasi sarkolemma. Letak tubulus T adalah di antara pita A dan pita I sehingga setiap

sarkomer memiliki 2 tubulus T. Tubulus T berisi cairan ekstraseluler dan membantu jalan di dalam serat otot. Karena tubulus T memiliki struktur umum yang sama dengan sarkolema, impuls elektrik yang sampai di sarkolema dapat diteruskan ke tubulus T<sup>(2)</sup>.

Retikulum sarkoplasma adalah sebuah membran kompleks yang membentuk jaringan tubular pada setiap myofibril. Struktur ini mirip dengan retikulum endoplasma halus. Retikulum sarkoplasma merupakan tempat penyimpanan Ca<sup>2+</sup> dan memiliki kanal ion Ca<sup>2+</sup>. Dengan rangsangan gelombang depolarisasi dari tubulus T, kanal akan terbuka dan Ca<sup>2+</sup> akan dilepaskan ke sitosol dekat myofibril. Dengan mekanisme ini, retikulum sarkoplasma mengatur kontraksi melalui Ca<sup>2+</sup>. Ujung retikulum sarkoplasma yang berdilasi membentuk kantong di dekat tubulus T disebut dengan sisterna terminal. Struktur yang terdiri dua sisterna terminal dan tubulus transversus di antaranya disebut dengan triad. Di dalam sarkolemma terdapat sarkoplasma berisi glikogen yang dapat digunakan untuk sintesis ATP. Sarkoplasma juga memiliki myoglobin, protein berwarna merah yang mengikat oksigen dan berdifusi ke dalam otot melalui cairan interstisial. Oksigen akan dilepaskan myoglobin saat produksi ATP. Mitokondria yang juga terlibat dalam produksi ATP terletak di sepanjang serat otot di dekat protein-protein otot yang menggunakan ATP<sup>(2,4)</sup>.

Myofibril tersusun atas struktur yang lebih kecil yaitu filamen yang dapat berupa filamen tipis maupun tebal. Kedua tipe filamen ini dapat diamati menggunakan mikroskop elektron. Filamen tidak berada di seluruh panjang serat otot, melainkan tersusun dalam kompartemen-kompartemen yang disebut sarkomer. Pada otot 5 rangka mamalia, setiap filamen tebal dikelilingi oleh filamen tipis dalam jarak yang sama. Potongan crossectional akan menunjukkan pola-pola heksagonal pada daerah bertumpuknya filamen tebal dan tipis. Bagian tengah dari heksagon ini diisi oleh filamen tebal dan ujung-ujungnya oleh filamen tipis. Pada potongan longitudinal, terlihat garis-garis berisi pita-pita gelap dan terang yang dihasilkan oleh myofibril yang tersusun sangat paralel. Pita yang gelap disebut pita A (anisotropik bila diberi cahaya terpolarisasi) dan pita yang terang adalah pita I (isotropik terhadap cahaya terpolarisasi). Pita I dibagi menjadi dua bagian sama rata oleh garis gelap yang disebut disk Z/garis Z. Di tengah pita A terdapat daerah yang pucat, yaitu pita H. Pita H dipertengahi oleh garis M yang gelap. Garis M adalah protein yang membantu stabilisasi posisi filamen tebal. Sarkomer adalah sebutan untuk satu unit kontraktile pada serat otot rangka yang diperantarai dua garis Z. Panjang sarkomer biasanya 2,5 mikrometer. Pita-pita serat otot rangka akan berperilaku secara khas pada saat kontraksi otot. Myofibril dapat saling merespons satu sama lain berkat bantuan filamen intermediet desmin dan vimentin yang

mengamankan bagian pinggir garis Z. Berkas-berkas myofibril dapat menempel pada sitoplasma sarkolemma melalui berbagai protein, contohnya protein distrofin yang dapat berikatan dengan aktin<sup>(2)</sup>.



Gambar 4.2. Miofilamen<sup>(1)</sup>.

#### IV.1.6. Protein Pada Otot Rangka

##### 1. Filamen Tebal

Sebanyak 200-300 myosin II menyusun setiap filamen tebal. Myosin II terdiri atas 2 rantai berat (heavy chains) identik dan 4 rantai ringan (light chains) yang terdiri atas 2 jenis (masing-masing jenis memiliki dua rantai ringan). Rantai berat memiliki bentuk seperti ujung stik golf yang tangkainya merupakan rantai polipeptida yang mengikat satu sama lain dalam bentuk alfa-heliks. Bagian-bagian rantai berat dapat dibagi menggunakan tripsin menjadi<sup>(2)</sup>:

- a. Meromyosin ringan, memiliki ekor seperti tangkai yang terdiri atas kebanyakan ikatan dua rantai polipeptida.
- b. Meromyosin berat, yaitu dua kepala globuler ditambah dengan bagian proksimal dua tangkai yang saling mengikat. Dengan menggunakan papain, struktur ini dapat dibagi lagi menjadi:

- Subfragmen S1, yaitu 2 gugus fungsi globuler yang mengikat ATP dan membentuk crossbridge antara filamen tipis dan filamen tebal. Setiap subfragmen S1 memiliki dua rantai ringan dari jenis yang berbeda.
- Subfragmen S2, yaitu segmen helikal pendek berbentuk tangkai.

Myosin memiliki dua daerah yang fleksibel. Daerah pertama yang terletak di antara meromyosin berat dan meromyosin ringan mengakibatkan filamen tebal dapat bersentuhan dengan filamen tipis. Fleksibilitas pada daerah yang kedua, yaitu pada hubungan antara subfragmen S1 dan S2, mengakibatkan filamen tebal dapat menarik filamen tipis menuju sarkomer<sup>(2)</sup>.

## 2. Filamen tipis

Filamen tipis terdiri atas polimer F-actin yang tersusun atas unit globular G-actin. Susunan molekul G aktin menghasilkan kutub positif (yang terikat pada garis Z) dan kutub negatif (yang berada di dekat daerah tengah sarkomer) pada filamen tipis. Setiap molekul G-actin mempunyai situs tempat subfragmen S1 dan myosin II berikatan. Situs ini dinamakan situs aktif (active site). Di sepanjang aktin terdapat polimer panjang molekul tropomyosin yang menutupi situs aktif pada aktin. Pada filamen tipis juga terdapat troponin yang terdiri atas tiga polipeptida globular<sup>(2)</sup>:

- TnT: subunit yang mengikat tropomyosin dengan troponin.
- TnC: subunit yang memiliki afinitas besar terhadap kalsium. Ikatan kalsium dengan subunit ini akan mengubah konformasi tropomyosin sehingga situs aktif kembali terbuka.
- TnI: subunit yang mencegah interaksi antara myosin II dan aktin.

## 3. Klasifikasi Protein

Terdapat tiga jenis protein penyusun myofibril:

- Protein kontraktil, yaitu protein yang menimbulkan gaya pada saat kontraksi. Protein jenis ini terdiri atas<sup>(3)</sup>:
  - Aktin. Molekul-molekul individu aktin bergabung menjadi filamen tipis berbentuk heliks. Filamen ini bersangga pada garis Z. Pada setiap molekul aktin terdapat situs perlekatan myosin (myosinbinding site).
  - Myosin. Myosin berfungsi sebagai motor protein yang menarik atau mendorong struktur sel tertentu untuk menghasilkan pergerakan. Hal ini dicapai dengan mengubah energi kimia dari ATP menjadi energi mekanik. Sebanyak 300 molekul myosin membentuk satu filamen tebal pada otot rangka. Bentuk

myosin menyerupai dua tongkat golf yang dimiringkan bersama-sama. Filamen tebal paling banyak berisi myosin II.

b. Protein regulator, yaitu protein yang membantu menjalankan/menonaktifkan proses kontraksi. Protein regulator di antaranya adalah<sup>(3)</sup>:

- Tropomyosin (komponen filamen tipis)
- Troponin (komponen filamen tipis)

c. Protein struktural, yaitu protein yang mengatur agar filamen tebal dan tipis berada dalam posisi yang tepat, mengaitkan myofibril ke sarkolemma dan matriks ekstraseluler, serta memberikan elastisitas dan ekstensibilitas pada myofibril. Berikut adalah protein-protein struktural<sup>(2)</sup>:

- Titin: protein yang panjang, lurus, dan elastis, berperan dalam memposisikan filamen tebal dalam sarkomer1.
- Alfa-aktinin: komponen garis Z yang mengikat filamen tipis secara paralel dengan mengaitkan ujung positif filamen tipis ke garis Z
- Cap Z: protein yang menjaga panjang filamen tipis dengan cara “memegang” ujung positif filamen tipis sehingga dapat memblok adisi atau substraksi molekul G-aktin.
- Nebulin: protein garis Z, protein tidak elastis yang mengelilingi sepanjang filamen, mengaitkan filamen tipis dengan garis Z; juga berfungsi sebagai “penggaris” yang memastikan panjang filamen.
- Tropomodulin: protein yang membantu fungsi penggaris nebulin dengan menjadi cap untuk ujung negatif filamen tipis (fungsinya seperti cap Z).
- Myomesin: protein penyusun garis M pada sarkomer yang berikatan dengan titin dan menyambungkan satu filamen tebal dengan filamen tebal yang lain.
- Distrofin: protein yang mengaitkan filamen tipis dengan protein membran sarkolemma; diduga membantu memperkuat sarkolemma dan membantu transmisi tegangan dari sarkomer ke otot.

#### **IV.1.7. Warna Otot**

Perbedaan ukuran panjang dan diameter otot-otot dalam tubuh kita menyebabkan karakteristik kontraksi dari setiap otot juga berbeda, tergantung dari fungsi otot itu sendiri. Sebagai contoh, otot –otot besar seperti otot solleus memiliki kecepatan kontraksi 1/5 detik, gastrocnemius memiliki kecepatan kontraksi 1/12 detik, sedangkan otot –otot bola mata

mempunyai kecepatan kontraksi 1/40 detik. Karena pergerakan bola mata membutuhkan kecepatan yang tinggi untuk mempertahankan fiksasi mata terhadap suatu obyek tertentu.

Berdasarkan kecepatan kontraksinya tersebut, maka otot dapat dibagi dalam dua bagian besar, yaitu<sup>(1)</sup>:

1. Serabut tipe cepat
2. Serabut tipe lambat

Ada tiga jenis tipe serabut otot rangka, akan tetapi pada manusia tipe IIA sangat jarang, pada umumnya hanya Tipe I dan IIB. Otot tipe I disebut otot merah (*red muscle*) karena banyak mengandung mioglobin dan serabut saraf, sedangkan yang kurang mengandung mioglobin disebut otot putih (*white muscle*). Pada dasarnya proporsi antara *red muscle* dengan *white muscle* dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa hal tersebut ditentukan oleh faktor genetik, walaupun demikian pengaruh persarafan oleh motor neuron serta latihan fisik turut mempengaruhinya<sup>(1)</sup>.

Tabel 4.1. Tipe Serat Otot<sup>(1)</sup>

Characteristic	Fibre types		
	Type I	Type IIA	Type IIB
<b>Physiological</b>			
Function	Sustained forces, as in posture		Powerful, fast movements
Motor neurone firing threshold	Low	Intermediate	High
Motor unit size	Small	Large	Large
Firing pattern	Tonic, low-frequency		Phasic, high-frequency
Maximum shortening velocity	Slow	Fast	Fast
Rate of relaxation	Slow	Fast	Fast
Resistance to fatigue	Fatigue-resistant	Fatigue-resistant	Fatigue-susceptible
Power output	Low	Intermediate	High
<b>Structural</b>			
Capillary density	High		Low
Mitochondrial volume	High	Intermediate	Low
Z-band	Broad	Narrow	Narrow
T and SR systems	Sparse		Extensive
<b>Biochemical</b>			
Myosin ATPase activity	Low		High
Oxidative metabolism	High	Intermediate	Low
Anaerobic glycolysis	Low	Intermediate	High
Calcium transport ATPase	Low		High

### **IV.1.8. Regenerasi Sel Otot**

Pada otot rangka, walaupun intinya tidak dapat bermitosis, jaringan ini tetap dapat mengalami regenerasi tetapi dalam batasan tertentu. Sumber sel yang beregenerasi diyakini adalah sel satelit. Sel satelit adalah populasi kecil sel mononukleus berbentuk gelendong dan berada dalam lamina basalis yang mengelilingi setiap serabut otot yang matang. Karena hubungannya yang erat dengan permukaan serabut otot, sel satelit hanya dapat dikenali dengan mikroskop elektron. Sel satelit dianggap sebagai mioblas inaktif yang menetap setelah diferensiasi otot terjadi. Setelah cedera atau diberikan rangsangan tertentu, sel satelit yang sebelumnya inaktif menjadi aktif, berproliferasi dan bergabung membentuk serabut otot rangka baru. Aktivitas sel satelit yang sama berperan pada hipertrofi otot, sewaktu sel satelit bersatu dengan serabut induknya, yang akan menambah massa otot setelah beraktivitas berat. Akan tetapi, kemampuan regenerasi otot rangka sangat terbatas setelah mengalami trauma otot atau degenerasi<sup>(2,4)</sup>.

## **IV.2. Fisiologi Otot**

### **IV.2.1. Pengaturan Kontraksi Otot**

Sistem otot adalah sistem tubuh yang memiliki fungsi untuk alat gerak, menyimpan glikogen dan menentukan postur tubuh. Terdiri atas otot polos, otot jantung dan otot rangka. Otot rangka merupakan jenis otot yang melekat pada seluruh rangka, cara kerjanya disadari (sesuai kehendak), bentuknya memanjang dengan banyak lurik-lurik, memiliki nucleus banyak yang terletak di tepi sel contohnya adalah otot pada lengan. Jaringan otot merupakan kumpulan dari sel-sel pada serabut otot. Selama perkembangan embrionik, serabut otot dibentuk melalui peleburan ekor dengan ekor dari banyak sel menjadi struktur yang seperti pipa. Jaringan otot rangka merupakan jaringan yang mampu melangsungkan kerja mekanik dengan jalan kontraksi dan relaksasi sel atau serabutnya. Sel otot memiliki struktur filamen dalam sitoplasma, bentuk selnya memanjang agar dapat melangsungkan perubahan sel menjadi pendek. Di balik mekanisme otot yang secara eksplisit hanya merupakan gerak mekanik itu, terjadilah beberapa proses kimiawi dasar yang berseri demi kelangsungan kontraksi otot<sup>(5)</sup>.

Otot merupakan struktur elastik yang terdapat dalam medium yang viscous (*teori viskoelastik* 1840-1920). Jumlah energi yang dilepaskan pada proses kontraksi tergantung dari seberapa jauh otot tersebut diregangkan. Sejak ditemukannya struktur aktin dan myosin sebagai protein kontraktil maka muncullah teori *continous filament theory* yang menjelaskan

bahwa proses kontraksi molekul aktin dan myosin berkombinasi membentuk satu *continuous filament*. Tahun 1954, Huxley mengajukan *sliding filament theory*. Dengan menggunakan mikroskop electron serta dukungan data biokimia, maka teori *sliding filament* dikembangkan menjadi *cross-bridge theory* yang mana menjelaskan bahwa kepala dari myosin membentuk *cross-bridges* dengan aktin monomer. Menurutnya bahwa pada saat kontraksi *cross-bridges* pertama-tama akan menempel pada filament tipis dan menariknya ke arah central dari pita A, kemudian ia akan terlepas dari filament tipis sebelum kembali bergerak ke dalam posisinya yang semula. Gerakan yang terjadi tersebut disebut juga *ratchet theory*. Jika terdapat troponin-tropomiosin kompleks, filament aktin akan melekat erat dengan filament miosin dengan adanya ion Mg dan ATP. Namun, jika terdapat troponin-tropomiosin kompleks maka interaksi antara filament aktin dan myosin tidak terjadi. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa pada keadaan relaksasi bagian aktif dari filamen aktin ditutupi oleh troponin-tropomiosin kompleks. Hal ini menyebabkan bagian aktif tersebut tidak dapat melekat dengan filament myosin untuk menimbulkan kontraksi. Setiap dikeluarkannya isi sebuah gelembung sinaptik (biasanya berisi Ach) akan dihasilkan perubahan tegangan listrik pada sel post sinaptik. Pada setiap perangsangan saraf pada umumnya akan dilepaskan sejumlah gelembung sinaptik secara serentak sehingga membran ototnya mengalami depolarisasi di atas nilai ambang sehingga terbangkitlah aksi potensial. Potensial menyebar ke seluruh sel otot yang akan berakhir sebagai kontraksi<sup>(5)</sup>.

Secara umum proses kontraksi dan relaksasi yang terjadi pada otot terjadi melalui beberapa tahapan yaitu dimulai pada terjadinya aksi potensial pada *motor neuron* yang menyebabkan pelepasan Ach. Ach akan terikat dengan reseptor pada otot yang menyebabkan end plate potential (EPP), Na channel terbuka dan ion Na akan masuk ke dalam sel otot dan memulai aksi potensial pada otot. Aksi potensial pada otot tersebut akan menyebabkan ion Ca masuk ke dalam sel dan merangsang pelepasan ion Ca intra sel dari sisterna RS (*Ca induced Ca Released*). Depolarisasi dari SR terjadi dengan mengaktifkan Ca channel pada tubulus T melalui reseptor dihidropiridin yang terdapat pada Ca channel. Ion Ca dari RS ini akan terikat dengan TN-C dan selanjutnya merubah konfigurasi troponin-tropomiosin kompleks dan terjadi sliding dari filament aktin dan myosin. Proses ini disebut proses eksitasi-kontraksi kopling (*excitation-contraction coupling*). Dalam beberapa detik setelah proses kontraksi, ion Ca akan dipompa kembali ke dalam sisterna RS oleh Ca pump (Ca ATPase) yang terdapat pada membran RS. Dengan tidak adanya ion Ca, troponin-tropomiosin kompleks akan kembali ke konfigurasi semula, dan tropomiosin akan kembali menutupi

bagian aktif dari aktin, sehingga menghalangi interaksi antara aktin dan myosin hingga terjadilah relaksasi. Ca yang dipompa kembali kedalam sisterna RS oleh Ca pump akan terikat dengan calcium-binding protein yang terdapat didalam sisterna RS yang disebut calsequestrin yang dapat mengikat ion Ca dalam jumlah besar. Ion Ca yang terikat pada calsequestrin ini akan dilepaskan kembali dari RS pada saat kontraksi berikutnya<sup>(5)</sup>.

#### **IV.2.2. Mekanisme Kontraksi Otot**

##### **1. Filamen-Filamen Tebal dan Tipis yang Saling Bergeser Saat Proses Kontraksi.**

Menurut fakta, kita telah mengetahui bahwa panjang otot yang berkontraksi akan lebih pendek daripada panjang awalnya saat otot sedang rileks. Pemendekan ini rata-rata sekitar sepertiga panjang awal. Melalui mikroskop elektron, pemendekan ini dapat dilihat sebagai konsekuensi dari pemendekan sarkomer. Sebenarnya, pada saat pemendekan berlangsung, panjang filamen tebal dan tipis tetap dan tak berubah (dengan melihat tetapan lebar lurik A dan jarak disk Z sampai ujung daerah H tetangga) namun lurik I dan daerah H mengalami reduksi yang sama besarnya. Berdasarkan pengamatan ini, Hugh Huxley, Jean Hanson, Andrew Huxley dan R.Niedergerke pada tahun 1954 menyarankan model pergeseran filamen (filament-sliding). Model ini mengatakan bahwa gaya kontraksi otot itu dihasilkan oleh suatu proses yang membuat beberapa set filamen tebal dan tipis dapat bergeser antar sesamanya<sup>(5)</sup>.

##### **2. Aktin Merangsang Aktivitas ATPase Miosin.**

Model pergeseran filamen tadi hanya menjelaskan mekanika kontraksinya dan bukan asal-usul gaya kontraktile. Pada tahun 1940, Szent-Gyorgi kembali menunjukkan mekanisme kontraksi. Pencampuran larutan aktin dan miosin untuk membentuk kompleks bernama aktomiosin ternyata disertai oleh peningkatan kekentalan larutan yang cukup besar. Kekentalan ini dapat dikurangi dengan menambahkan ATP ke dalam larutan aktomiosin. Maka dari itu, ATP mengurangi daya tarik atau afinitas miosin terhadap aktin. Selanjutnya, untuk dapat mendapatkan penjelasan lebih tentang peranan ATP dalam proses kontraksi itu, kita memerlukan studi kinetika kimia. Daya kerja ATPase miosin yang terisolasi ialah sebesar 0.05 per detiknya. Daya kerja sebesar itu ternyata jauh lebih kecil dari daya kerja ATPase miosin yang berada dalam otot yang berkontraksi. Bagaimanapun juga, secara paradoks, adanya aktin (dalam otot) meningkatkan laju hidrolisis ATP miosin menjadi sekitar 10 per detiknya. Selanjutnya, Edwin Taylor mengemukakan sebuah model hidrolisis ATP yang dimediasi /ditengahi

oleh aktomiosin. Pada tahap pertama, ATP terikat pada bagian miosin dari aktomiosin dan menghasilkan disosiasi aktin dan miosin. Miosin yang merupakan produk proses ini memiliki ikatan dengan ATP. Selanjutnya, pada tahap kedua, ATP yang terikat dengan miosin tadi terhidrolisis dengan cepat membentuk kompleks miosin-ADP-Pi. Kompleks tersebut yang kemudian berikatan dengan Aktin pada tahap ketiga. Pada tahap keempat yang merupakan tahap untuk relaksasi konformasional, kompleks aktin-miosin-ADP-Pi tadi secara tahap demi tahap melepaskan ikatan dengan Pi dan ADP sehingga kompleks yang tersisa hanyalah kompleks Aktin-Miosin yang siap untuk siklus hidrolisis ATP selanjutnya. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa proses terkait dan terlepasnya aktin yang diatur oleh ATP tersebut menghasilkan gaya vektorial untuk kontraksi otot<sup>(5)</sup>.

### 3. Model untuk Interaksi Aktin dan Miosin berdasarkan Strukturnya.

Rayment, Holden, dan Ronald Milligan telah memformulasikan suatu model yang dinamakan kompleks rigor terhadap kepala S1 miosin dan F-aktin. Mereka mengamati kompleks tersebut melalui mikroskopi elektron. Daerah yang mirip bola pada S1 itu berikatan secara tangensial pada filamen aktin pada sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu filamen. Sementara itu, ekor S1 mengarah sejajar sumbu filamen. Relasi kepala S1 miosin itu nampaknya berinteraksi dengan aktin melalui pasangan ion yang melibatkan beberapa residu Lisin dari miosin dan beberapa residu asam Aspartik dan asam Glutamik dari aktin<sup>(5)</sup>.

### 4. Kepala-kepala Miosin “Berjalan” Sepanjang Filamen-filamen Aktin.

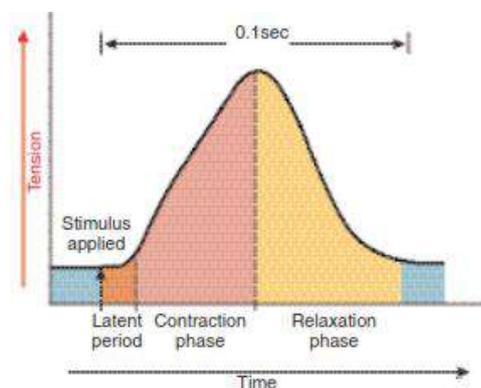
Hidrolisis ATP dapat dikaitkan dengan model pergeseran-filamen. Pada mulanya, kita mengasumsikan jika cross-bridges miosin memiliki letak yang konstan tanpa berpindah pindah, maka model ini tak dapat dibenarkan. Sebaliknya, cross-bridges itu harus berulang kali terputus dan terkait kembali pada posisi lain namun masih di daerah sepanjang filamen dengan arah menuju disk Z. Melalui pengamatan dengan sinar X terhadap struktur filamen dan kondisinya saat proses hidrolisis terjadi, Rayment, Holden, dan Milligan mengeluarkan postulat bahwa tertutupnya celah aktin akibat rangsangan (berupa ejsi ADP) itu berperan besar untuk sebuah perubahan konformasional (yang menghasilkan hentakan daya miosin) dalam siklus kontraksi otot. Postulat ini selanjutnya mengarah pada model “perahu dayung” untuk siklus kontraktil yang telah banyak diterima berbagai pihak. Pada mulanya, ATP muncul dan mengikatkan diri pada kepala miosin S1 sehingga celah aktin terbuka. Sebagai akibatnya, kepala S1 melepaskan ikatannya pada aktin. Pada tahap kedua, celah aktin akan menutup

kembali bersamaan dengan proses hidrolisis ATP yang menyebabkan tegaknya posisi kepala S1. Posisi tegak itu merupakan keadaan molekul dengan energi tinggi (jelas-jelas memerlukan energi). Pada tahap ketiga, kepala S1 mengikatkan diri dengan lemah pada suatu monomer aktin yang posisinya lebih dekat dengan disk Z dibandingkan dengan monomer aktin sebelumnya. Pada tahap keempat, Kepala S1 melepaskan Pi yang mengakibatkan tertutupnya celah aktin sehingga afinitas kepala S1 terhadap aktin membesar. Keadaan itu disebut keadaan transien. Selanjutnya, pada tahap kelima, hentakan-daya terjadi dan suatu geseran konformasional yang turut menarik ekor kepala S1 tadi terjadi sepanjang 60 Angstrom menuju disk Z. Lalu, pada tahap akhir, ADP dilepaskan oleh kepala S1 dan siklus berlangsung lengkap<sup>(5)</sup>.

### IV.2.3. Tipe Kontraksi Otot

#### 1. Kontraksi *Twitch*

Kontraksi *twitch* atau kedutan adalah model dasar dari sebuah kontraksi otot. Otot tidak langsung berkontraksi bila di stimulus, namun akan mulai berkontraksi sepersekian detik kemudian. Setelah itu akan meningkatkan kontraksinya hingga puncaknya (otot memendek, kemudian secara bertahap menurun menuju relaksasi. Ketiga fase kontraksi *twitch* yaitu periode laten, fase kontraksi, dan fase relaksasi<sup>(6)</sup>.



Gambar 4.3. Kontraksi *twitch*<sup>(6)</sup>

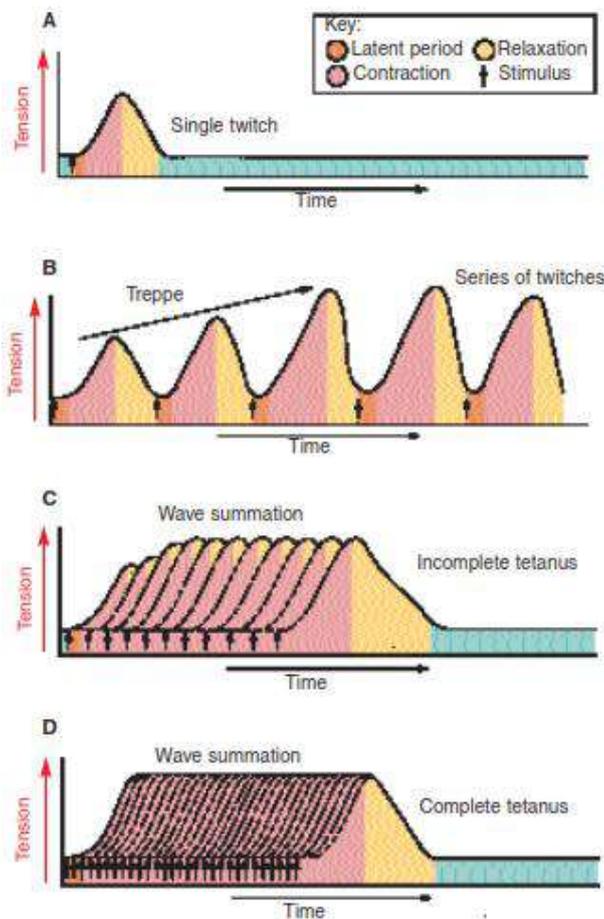
#### 2. Kontraksi *Treppe*

Kontraksi *treppe* dimulai secara bertahap, setiap kontraksi akan terjadi peningkatan dari kekuatannya. Dengan kata lain, sebuah kontraksi otot lebih kuat setelah berkontraksi beberapa kali daripada saat pertama kontraksi. Prinsip ini yang digunakan oleh atlet saat mereka pemanasan. Ada beberapa faktor yang berkontribusi untuk

fenomena ini. Pada saat pemanasan ion kalsium di difusikan sangat efektif sehingga memicu aktin dan myosin secara bertahap dan menurunkan waktu relaksasi dari otot. Bila rangsangan ini terus menerus akan mengakibatkan kelelahan otot<sup>(6)</sup>.

### 3. Kontraksi tetanus

Kontraksi terjadi bila stimulus yang terjadi terus menerus hingga relaksasi otot menjadi sangat pendek bahkan bisa menghilang<sup>(6)</sup>.



Gambar 4.4. Tipe kontraksi otot<sup>(6)</sup>

### 4. Tonus otot

Tonus otot adalah kondisi palpasi otot normal saat istirahat yang bersifat tidak flaksid dan mempunyai regangan tertentu. Hal ini juga diperoleh saat otot tersebut digerakkan secara pasif. Resistensi otot karena digerakkan secara pasif secara prinsip dapat disebabkan oleh dua faktor: yaitu sifat viskoelastik otot itu sendiri dan tegangan yang diakibatkan oleh kontraksi. Dari penelitian binatang yang dideserebrasi terbukti bahwa tonus otot terutama disebabkan oleh refleks, yang disebabkan oleh aliran impuls yang berkesinambungan dari *muscle spindle*, yang mengaktivasi motorneuron. Meskipun

demikian, hasil ini sulit diterapkan pada manusia pada keadaan sadar. Mereka mungkin paling relevan untuk otot yang menjaga posisi tegak, yang memperlihatkan aktivitas berkesinambungan atau intermiten pada orang yang berdiri dengan relaks (misalnya, beberapa ekstensor punggung, *m. psoas major*, dan *m. soleus*; kebanyakan otot lain tidak menunjukkan aktivitas EMG pada posisi ini)<sup>(6)</sup>.

Tampaknya, sistem saraf pusat mampu mengendalikan statik dan dinamik dan neuron secara sendiri-sendiri. Sampai seberapa jauh kendali sentral ini dimediasi oleh lintasan terpisah tidak diketahui, tetapi berbagai struktur tertentu terlihat terutama mempengaruhi satu jenis neuron fusimotor. Dengan demikian, stimulasi bagian medial formatio reticularis menyebabkan meningkatnya sensitivitas *static spindle*, sedangkan stimulasi bagian lateral menyebabkan peningkatan aktivitas dinamik. Faktor lain yang mempengaruhi *stretch reflex* dan tonus otot adalah organ tendon. Pada peregangan dan terutama kontraksi otot, reseptor ini terstimulasi. Aferennya tidak langsung ke motoneuron, tetapi melalui interneuron, yang mengirimkan impulsnya ke motoneuron. Fungsi organ tendon diduga mencegah kontraksi berlebihan dan untuk pengerem dan pada saat yang sama memfasilitasi antagonis. Selain itu juga ada yang untuk eksitasi motoneuron sinergis dan inhibisi antagonis. Jadi fungsinya lebih kompleks sebagai tambahan dari organ tendon, ada mekanisme lain yang cenderung untuk menghambat aktivitas motoneuron yang tereksitasi, yaitu inhibisi Renshaw<sup>(6)</sup>.

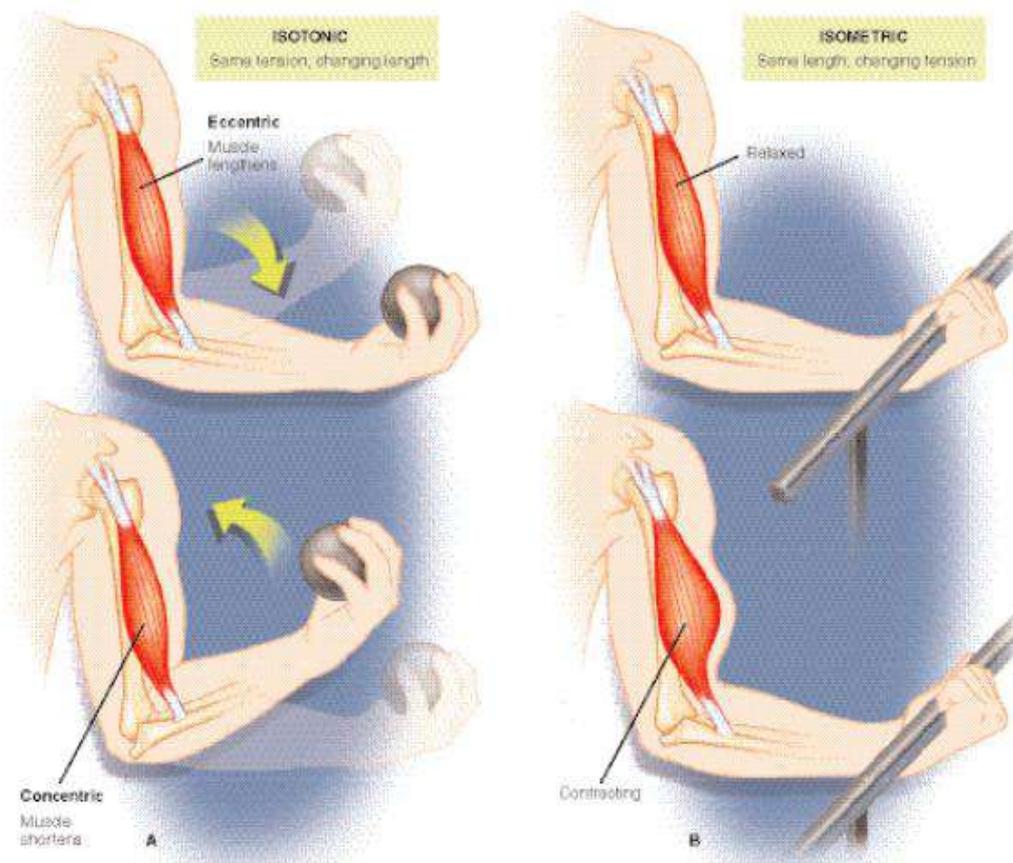
## 5. Kekuatan otot

Kekuatan otot adalah kemampuan otot untuk melakukan kontraksi guna membangkitkan tegangan terhadap suatu tahanan. Latihan yang sesuai untuk mengembangkan kekuatan ialah melalui bentuk latihan tahanan (*resistence exercise*). kontraksi otot yang terjadi pada saat melakukan tahanan dan latihan kekuatan terbagi dalam tiga kategori, yaitu :

Kontraksi isometrik (kontraksi statik) yaitu kontraksi sekelompok otot untuk mengangkat atau mendorong beban yang tidak bergerak. Dengan tanpa gerakan anggota tubuh, dan panjang otot tidak berubah. Seperti mengangkat, mendorong, atau menarik suatu benda yang tidak dapat digerakkan (tembok, pahan dsb). lamanya perlakuan kira-kira 10 detik, pengulangan 3x, dan istirahat 20-30 detik. Namun dari Hasil penelitian muller (bowers dan fox, 1992) menyarankan bahwa 5-10 kontraksi maksimal dengan ditahan selama 5 detik adalah yang terbaik dilihat dari sudut pandang cara berlatih<sup>(6)</sup>.

Kontraksi isotonik (kontraksi dinamik), yaitu kontraksi sekelompok otot yang bergerak dengan cara memanjang dan memendek jika tensi dikembangkan. Latihan kontraksi isotonik dapat dilakukan melalui latihan beban salam yaitu, beban tubuh itu sendiri, maupun melalui beban luar seperti, mengangkat barbell atau menggunakan sejenis alat/mesin latihan kekuatan, dan sejenis lainnya. Salah satu bentuk latihan kekuatan otot dengan kontraksi isotonik yang paling populer adalah melalui program *Wight Training*<sup>(6)</sup>.

Kontraksi isokinetik, Yaitu otot mendapatkan tahanan yang sama melalui seluruh ruang geraknya, sehingga otot bekerja secara maksimal pada setiap sudut ruang gerak persendiannya.alatnya latihannya melalui mesin latihan yang diciptakan secara khusus, seperti *Cyber Isokinetik Exercise*. Alat-alat itu memungkinkan otot berkontraksi secara cepat dan konstan melalui seluruh ruang geraknya, karena mesin memiliki mekanisme untuk mengontrol kecepatan<sup>(6)</sup>.



Gambar 4.5. Kontraksi isotonik dan isometrik<sup>(6)</sup>

## 6. Metabolisme otot rangka

ATP yang tersimpan dalam otot biasanya akan habis setelah kontraksi, sehingga ATP harus dibentuk kembali untuk kelangsungan aktivitas otot melalui sumber lain. Terdapat empat jalur biokimia yang menyediakan ATP untuk kontraksi otot :

Pemindahan fosfat berenergi tinggi dari kreatin fosfat simpanan ke ADP, yang merupakan sumber pertama ATP pada permulaan olahraga. Fosforilasi oksidatif, yang secara efisien mengekstraksi sejumlah besar ATP dari molekul nutrien apabila tersedia cukup O<sub>2</sub> untuk menunjang sistem ini. Fosforilasi oksidatif merupakan reaksi aerob. Glikolisis, yang dapat mensintesis ATP walaupun tidak tersedia O<sub>2</sub> tetapi menggunakan banyak glikogen dan dalam prosesnya menghasilkan asam laktat. Oxygen debt yaitu oksigen ekstra yang harus dihirup setelah aktivitas berat.

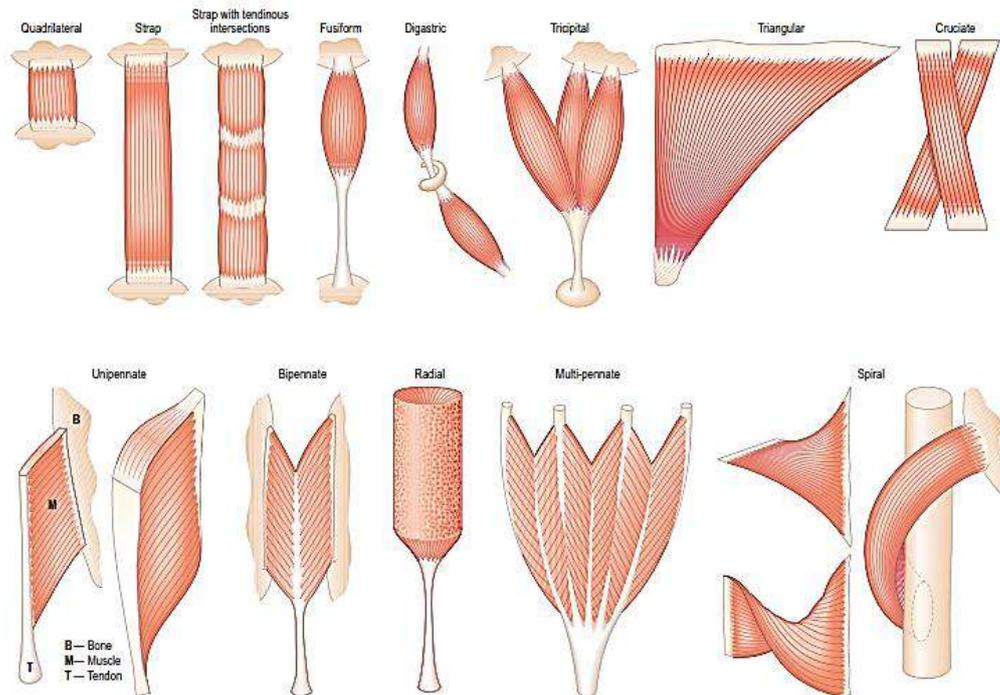
Terdapat tiga jenis serat otot, diklasifikasikan berdasarkan jalur yang mereka gunakan untuk membuat ATP (oksidatif atau glikolitik) dan kecepatan mereka menguraikan ATP dan kemudian berkontraksi (kedutan lambat - kedutan cepat), yaitu serat oksidatif-lambat, serat oksidatif-cepat, dan serat glikolitik-cepat<sup>(5)</sup>.

## IV. 3. Tipe Otot

Pengklasifikasian otot sangat bervariasi tergantung cirri khas yang dimiliki serat ototnya, cirri khas tersebut dapat dibedakan dari bentuknya; ukurannya; jumlah kepala (Head) atau perut (Belly); kedalamannya terhadap permukaan; insertinya atau perlekatannya; letak posisinya ditubuh; dan aksi gerakannya. Seperti yang ditunjukkan pada tabel.

Tabel 4.2. Istilah yang digunakan untuk menamai setiap otot<sup>(1)</sup>.

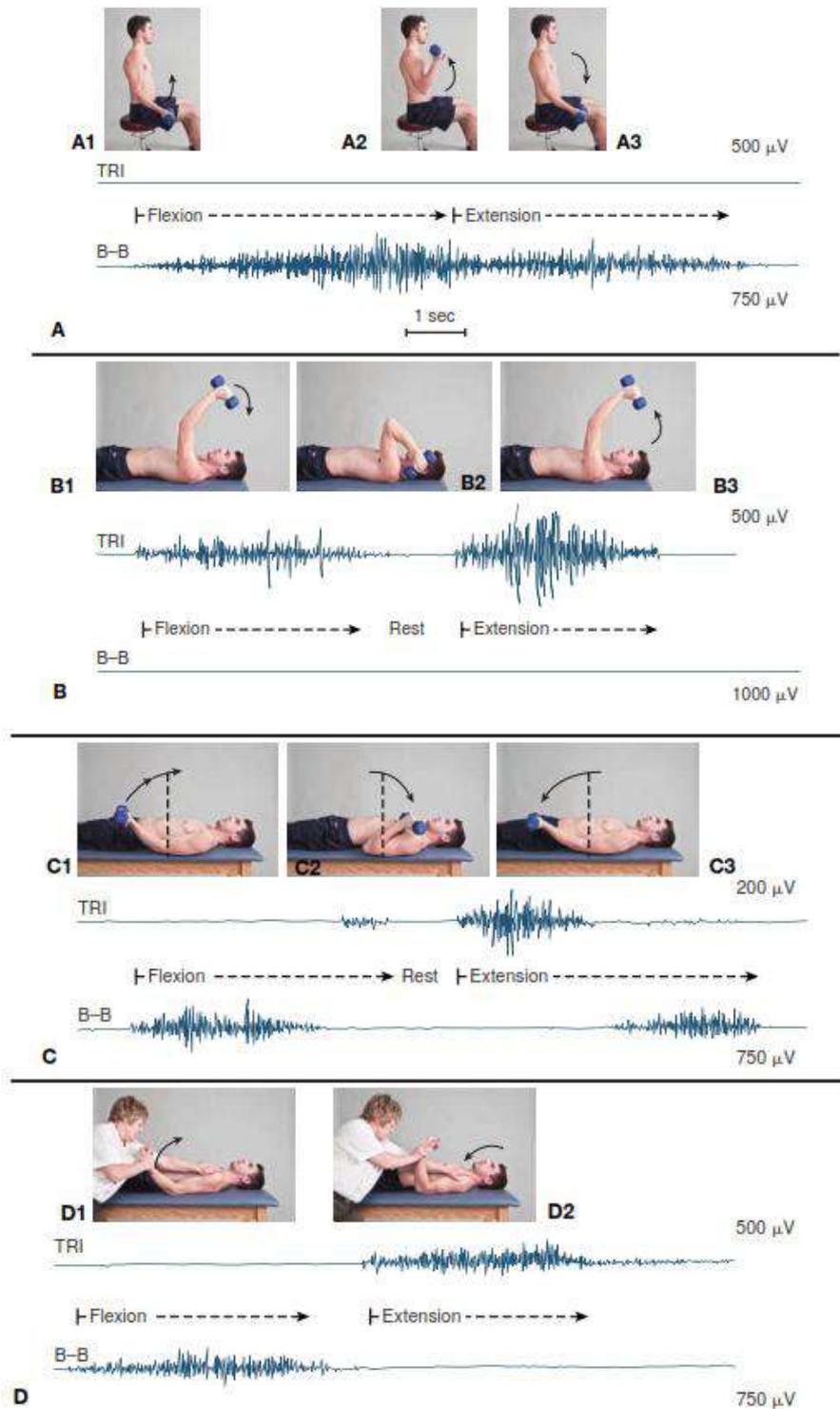
Shape	Number of heads or bellies	Position
Deltoid (triangular)	Biceps (two heads)	Anterior, posterior, medial, lateral, superior, inferior, supra-, infra-
Quadratus (square)	Triceps (three heads)	Interosseus (between bones)
Rhomboid (diamond-shaped)	Quadriceps (four heads)	Dorsi (of the back)
Teres (round)	Digastric (two bellies)	Abdominis (of the abdomen)
Gracilis (slender)		Pectoralis (of the chest)
Rectus (straight)		Brachii (of the arm)
Lumbrical (worm-like)		Femoris (of the thigh)
		Oris (of the mouth)
		Oculi (of the eye)
Size	Depth	Action
Major, minor, longus (long)	Superficialis (superficial)	Extensor, flexor
Brevis (short)	Profundus (deep)	Abductor, adductor
Latissimus (broadest)	Externus/externi (external)	Levator, depressor
Longissimus (longest)	Internus/interni (internal)	Supinator, pronator
		Constrictor, dilator
	Attachment	
	Sternocleidomastoid (from sternum and clavicle to mastoid process)	
	Coracobrachialis (from the coracoid process to the arm)	



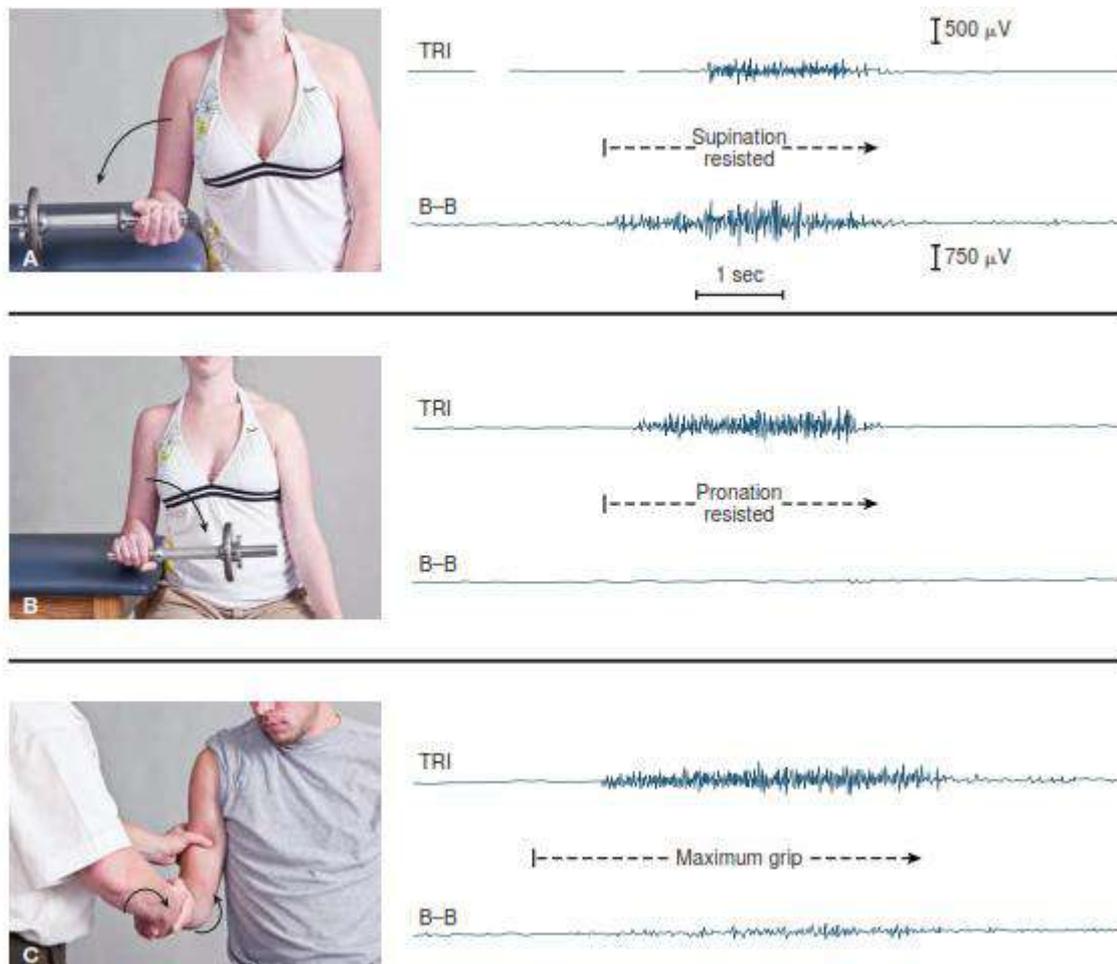
Gambar 4.6. Jenis bentuk otot<sup>(1)</sup>.

Selain pembagian tersebut diatas, otot rangka juga dikelompokkan berdasarkan hasil gerakannya, yaitu<sup>(7)</sup>:

1. *Prime Mover* atau *Agonist*. Ini adalah kelompok otot atau otot yang membuat kontribusi besar untuk gerakan pada sendi. Prinsip dari otot ini adalah menghasilkan gerak atau mempertahankan postur. Otot agonis menghasilkan kontraksi konsentris, eksentrik, atau isometrik.
2. *Antagonis*. Antagonis adalah kelompok otot atau otot yang memiliki tindakan yang berlawanan dengan *prime mover* atau *agonis*. Antagonis baik relaks untuk memungkinkan *agonis* untuk bergerak bagian melalui ROM, atau mungkin kontrak secara bersamaan untuk mengontrol atau memperlambat gerakan.
3. *Sinergis*. Sebuah *sinergis* adalah otot yang kontrak dan bekerja bersama dengan *agonis* untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan. *Sinergis* berfungsi dalam cara yang berbeda untuk membantu penggerak utama untuk menghasilkan gerakan.



Gambar 4.7. Gerakan Agonis dan Antagonis, perbandingan aktifitas EMG pada otot biceps dan trisep selama gerakan fleksi dan ekstensi siku dengan perubahan posisi badan dan tahanan yang diberikan. A) Pasien duduk dengan tahanan ditangan; B) Pasien tidur dengan tahanan di tangan; C) Pasien tidur dengan tahanan manual selama aktifitas konsentrik otot. Tri = triceps, B-B = Biceps brachii dan brachialis<sup>(7)</sup>



Gambar 4.8. Gerakan Sinergis, Sinergi dari aktifitas biceps dan triceps selama gerakan lengan. Perekaman EMG dilakukan saat pasien duduk, lengan bawah diflexikan 90 derajat, dan siku di tahan. Kontraksi isometric saat memulai supinasi lengan bawah membutuhkan aktifitas sinergis dari triceps untuk menjaga biceps agar tetap flexi pada siku<sup>(7)</sup>

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Drake R. L., Vogl, W., and Mitchell, A. W. M., 2008. *Gray's Anatomy for Students*. 40th ed. London : Churchill Livingstone. Hal 81-125
2. Gartner, L.P, Hiatt, J. L., 2007. *Color Textbook of Histology*. Third Edition. Philadelphia: Saunders.
3. Tortora, G. J., Derrickson, B. H., 2009. *Principles of Anatomy and Physiology: Organization, Support and Movement, and Control Systems of the Human Body*. Twelfth Edition. Volume I. USA: John Wiley & Sons.
4. Junqueira, L. C., Carneiro, J., 2006. *Histologi Dasar Teks dan Atlas*. Edisi 10. Jakarta: Penerbit buku kedokteran ECG;h.181-94.
5. Guyton, A., and Hall, J., 2006. *Textbook of Medical Physiology*. 11<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Elsevier Saunders. Chapter 6 hal 72-84.
6. Thibodeau , G. A., and Patton, K.. T., 2003. *Anthony's Textbook of Anatomy & Physiology*. St. Louis, Missouri: Elsevier.
7. Houglum, P., and Bertoti, D., 2012. *Brunstrom's Clinical Kinesiology Sixth Edition*. Philadelphia: F.A. Davis Company. Chapter 1 hal 3.

## BAB V

### KINESIOLOGI: KINEMATIKA

#### V.1. Definisi Kinesiologi, Kinetika dan Kinematika

Kata kinesiologi berasal dari bahasa Yunani, *kinesis*, bergerak dan *logy*, ilmu. Inti dari kinesiologi adalah gerakan. Dalam studi gerakan ada dua istilah yang digunakan untuk menggambarkan gerakan manusia, yaitu kinetika dan kinematika. Kinetika berkonsentrasi pada kekuatan-kekuatan yang menghasilkan atau menolak gerakan. Kinematika, di sisi lain, menggambarkan gerakan tubuh, tanpa memperhatikan kekuatan atau torsi yang dihasilkan dari gerakan tersebut<sup>(1,2)</sup>.

Sebuah deskripsi kinematika dari gerakan manusia menggambarkan posisi dan segmen tubuh, termasuk sendi dan hubungan mereka satu sama lain dengan dunia luar. Deskripsi ini dapat menyoroati gerakan satu titik pada tubuh, posisi beberapa segmen pada ekstremitas, atau posisi serta gerakan sendi tunggal dan permukaan sendi yang berdekatan. Kinematika menggunakan sistem tiga-dimensi yang digunakan dalam matematika dan fisika untuk menggambarkan orientasi tubuh dan segmen ruangnya. Penggunaan sistem ini membantu kita mengidentifikasi dan memprediksi gerakan tubuh dan segmen tersebut. Kinematika dibagi menjadi dua subtopik menurut fokus khusus gerakannya, yaitu *osteokinematics* dan *arthrokinematics*. *Osteokinematics* menyangkut gerakan dari tulang atau segmennya yang membentuk sendi dan *arthrokinematics* berfokus pada gerakan yang terjadi di dalam sendi dan antara permukaan sendi<sup>(2)</sup>.

Sekarang ini, kinesiologi telah mengkombinasikan temuan selama berabad-abad dengan teknologi modern untuk membuat alat yang sangat canggih dari analisis gerakan manusia. Ini merupakan studi evolusi ilmiah dari gerakan sederhana dan kompleks. Studi ini menggabungkan teori dari anatomi, fisiologi, antropologi, fisika, mekanika, dan biomekanik. Kinesiologi melibatkan studi dari sistem muskuloskeletal karena gerak tubuh dibuat oleh kelompok otot yang berkontraksi menarik tulang dan menggerakkan sendi<sup>(2,3)</sup>.

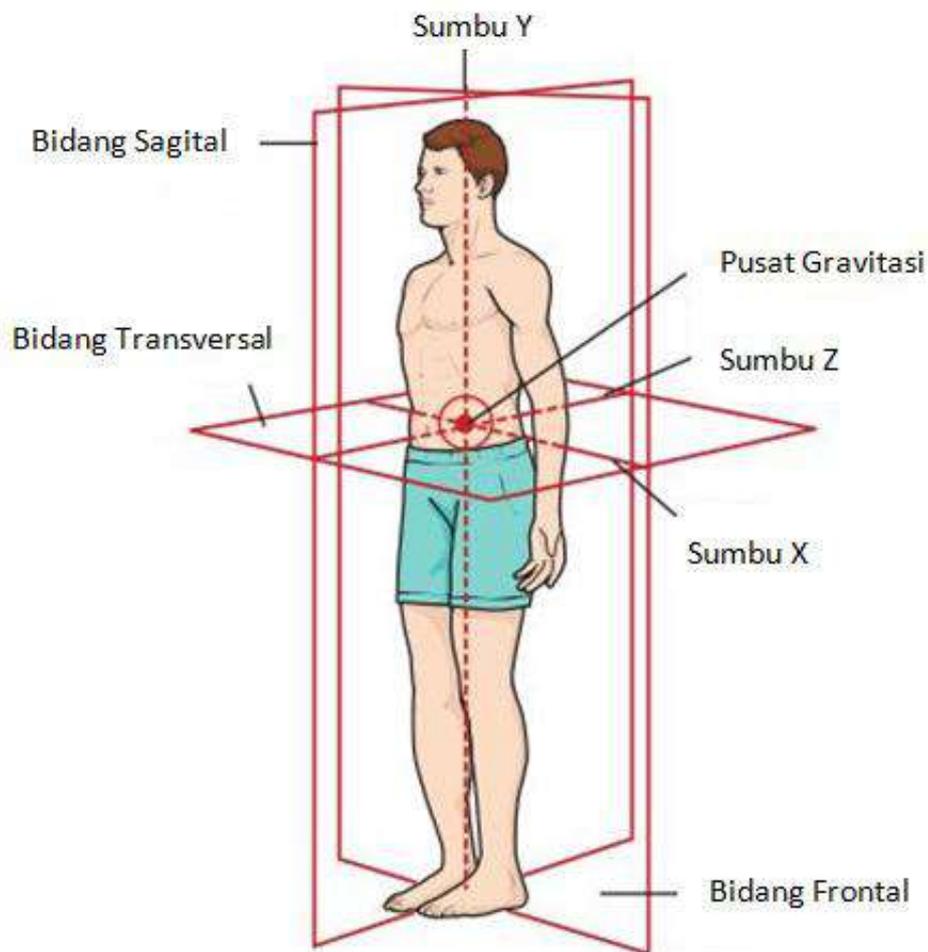
Mempelajari kinesiologi klinis akan menolong memahami gerakan dan kekuatan aksi yang bekerja pada tubuh manusia dan belajar bagaimana memanipulasi kekuatan ini untuk mencegah cedera, mengembalikan fungsi, dan memberikan kinerja manusia yang optimal<sup>(2)</sup>.

## V.2. Terminologi

Sebelum membahas *osteokinematics*, *arthrokinematics*, dan kinetika, ada beberapa istilah dasar yang perlu diketahui untuk memahami gerakan manusia.

### V.2.1. Bidang gerak dan sumbu gerak

Tubuh bergerak dalam bidang gerak di sekitar sumbu gerak. Tubuh manusia bergerak dalam tiga bidang gerak yang disebut sebagai bidang gerak utama. Tiga sumbu memutar di sekitar bidang gerak yang dalam fisika disebut sumbu x, y, dan z. Sumbu x atau *medial-lateral axis* berjalan sisi ke sisi dalam bidang frontal; sumbu y atau *vertical axis* berjalan dari atas ke bawah atau superior-inferior dalam bidang transversal, dan sumbu z atau *anterior-posterior axis* berjalan dari depan ke belakang dalam bidang sagital (Gambar 5.1)<sup>(2)</sup>.



Gambar 5.1. Bidang gerak utama dan sumbu tubuh dalam posisi anatomi<sup>(2)</sup>

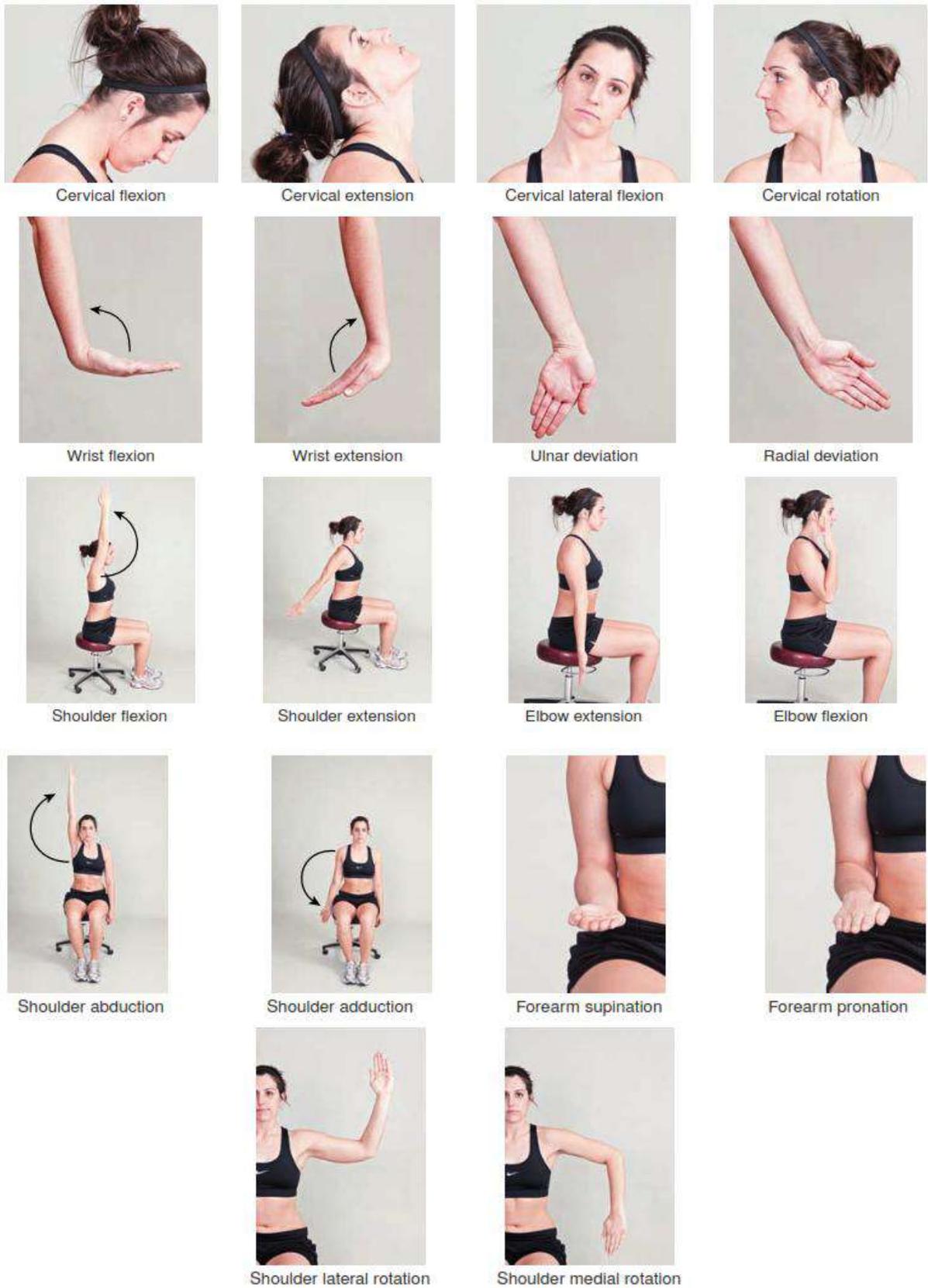
- a. Bidang frontal juga dikenal sebagai bidang koronal (bidang XY), karena sejajar dengan tulang frontal sepanjang sutura koronaria kranium. Bidang ini membagi tubuh

menjadi bagian depan dan belakang. Berputar di sekitar sumbu yang tegak lurus yaitu sumbu anterior-posterior. Gerakan yang terjadi dalam bidang frontal adalah :

- Abduksi dan adduksi (pinggul, bahu, dan jari)
  - Deviasi ulnar dan radial (salah satu bentuk abduksi/adduksi di pergelangan tangan)
  - Fleksi lateral (leher dan badan)<sup>(2)</sup>.
- b. Bidang sagital (Bidang YZ) adalah bidang yang sejajar dengan sutura sagitalis kranium yang membagi tubuh menjadi sisi kanan dan kiri. Contoh paling jelas dari gerakan sendi terjadi pada bidang sagital adalah fleksi-ekstensi (leher, badan, siku dan banyak lainnya) dan dorsifleksi-plantarfleksi pergelangan kaki<sup>(2)</sup>.
- c. Bidang horizontal atau transversal (Bidang XZ) adalah bidang yang sejajar dengan horison dan lantai. Bidang ini membagi tubuh menjadi bagian atas dan bawah. Rotasi terjadi pada bidang longitudinal atau sumbu y. Seperti sumbu lainnya relatif terhadap bidang gerak mereka, sumbu ini terletak tegak lurus terhadap bidang transversal di arah *cephalocaudal* dan disebut dalam fisika sebagai sumbu y dan dalam kinesiologi sebagai sumbu superior-inferior, sumbu vertikal, atau sumbu longitudinal. Gerakan yang terjadi dalam bidang transversal adalah:
- Rotasi medial dan lateral (pinggul dan bahu)
  - Pronasi dan supinasi (lengan)
  - Eversi dan inversi (kaki)<sup>(2)</sup>.

### V.2.2. Gerakan Tubuh

Sendi adalah artikulasi antara dua tulang dan diberi nama mengikuti konvensi yang sangat sederhana. Penamaan sendi dengan menggunakan nama dari dua tulang yang membentuk sendi, biasanya dengan diawali dengan nama tulang proksimal. Misalnya, artikulasi di pergelangan tangan antara tulang radius distal dan tulang carpal proksimal diberi nama *radiocarpal joint*. Terminologi deskriptif direksional digunakan untuk menggambarkan tipe gerakan antara dua sendi (Gambar 5.2)<sup>(2)</sup>.



Gambar 5.2. Tipe gerakan sendi<sup>(2)</sup>



Trunk rotation



Trunk lateral flexion



Trunk flexion



Trunk extension



Hip abduction



Hip adduction



Hip flexion



Hip extension



Hip medial rotation



Hip lateral rotation



Knee flexion



Knee extension



Ankle dorsiflexion



Ankle plantarflexion



Ankle adduction



Ankle abduction



Ankle inversion



Ankle eversion

Gambar 5.2. Tipe gerakan sendi (Lanjutan)<sup>(2)</sup>

- a. Fleksi adalah gerakan membungkuk atau menekuk sehingga satu tulang bergerak ke arah lain dan terjadi penurunan sudut sendi pada bidang sagital sekitar sumbu medial-lateral.
- b. Ekstensi adalah gerakan untuk meluruskan. Gerakan ini menimbulkan peningkatan sudut sendi.
- c. Hiperekstensi adalah gerakan ekstensi yang melampaui posisi referensi anatomi.
- d. Dorsifleksi adalah gerakan fleksi pergelangan kaki (talotibial), misalnya, terjadi ketika dorsum kaki bergerak menuju permukaan anterior tibia.
- e. Plantarfleksi adalah gerakan ekstensi dorsum kaki (pada tumit) menjauh dari tibia.
- f. Fleksi lateral adalah gerakan leher atau badan ke arah samping.
- g. Adduksi adalah gerakan mendekati tubuh atau garis tengah tubuh.
- h. Abduksi adalah gerakan menjauhi tubuh atau garis tengah tubuh.
- i. Deviasi ulnar adalah gerakan adduksi telapak tangan, yang bergerak ke samping
- j. ke arah ulna (jari kelingking mendekati ulna).
- k. Deviasi radial adalah gerakan abduksi telapak tangan, yang bergerak ke samping ke arah radius (ibu jari mendekati radius).
- l. Rotasi adalah gerakan berputar di sekitar sumbu memanjang atau vertikal dalam bidang transversal.
- m. Rotasi medial (internal atau endorotasi) adalah gerakan rotasi ke dalam atau ke arah garis tengah tubuh atau.
- n. Rotasi lateral (eksternal atau eksorotasi) adalah gerakan rotasi ke luar atau menjauh dari garis tengah tubuh.
- o. Pronasi adalah gerakan rotasi lengan sehingga telapak tangan menghadap ke atas (menengadahkan telapak tangan).
- p. Supinasi adalah gerakan rotasi lengan sehingga telapak tangan menghadap ke bawah (menelungkupkan telapak tangan).
- q. Inversi adalah gerak memiringkan telapak kaki ke dalam tubuh.
- r. Eversi adalah gerakan memiringkan telapak kaki ke luar.
- s. Elevasi merupakan gerakan mengangkat.
- t. Depresi adalah gerakan menurunkan<sup>(2)</sup>.

### V.2.3 Tonus otot

Tonus otot adalah kondisi palpasi otot normal saat istirahat yang bersifat tidak flaksid dan mempunyai regangan tertentu. Hal ini juga diperoleh saat otot tersebut digerakkan secara pasif. Resistensi otot karena digerakkan secara pasif secara prinsip dapat disebabkan oleh dua faktor: yaitu sifat viskoelastik otot itu sendiri dan tegangan yang diakibatkan oleh kontraksi. Dari penelitian binatang yang dideserebrasi terbukti bahwa tonus otot terutama disebabkan oleh refleks, yang disebabkan oleh aliran impuls yang berkesinambungan dari *muscle spindle*, yang mengaktifasi motorneuron. Meskipun demikian, hasil ini sulit diterapkan pada manusia pada keadaan sadar. Mereka mungkin paling relevan untuk otot yang menjaga posisi tegak, yang memperlihatkan aktivitas berkesinambungan atau intermiten pada orang yang berdiri dengan relaks (misalnya, beberapa ekstensor punggung, *m. psoas major*, dan *m. soleus*; kebanyakan otot lain tidak menunjukkan aktivitas EMG pada posisi ini)<sup>(4)</sup>.

Tampaknya, sistem saraf pusat mampu mengendalikan statik dan dinamik dan neuron secara sendiri-sendiri. Sampai seberapa jauh kendali sentral ini dimediasi oleh lintasan terpisah tidak diketahui, tetapi berbagai struktur tertentu terlihat terutama mempengaruhi satu jenis neuron fusimotor. Dengan demikian, stimulasi bagian medial formatio reticularis menyebabkan meningkatnya sensitivitas *static spindle*, sedangkan stimulasi bagian lateral menyebabkan peningkatan aktivitas dinamik<sup>(4)</sup>.

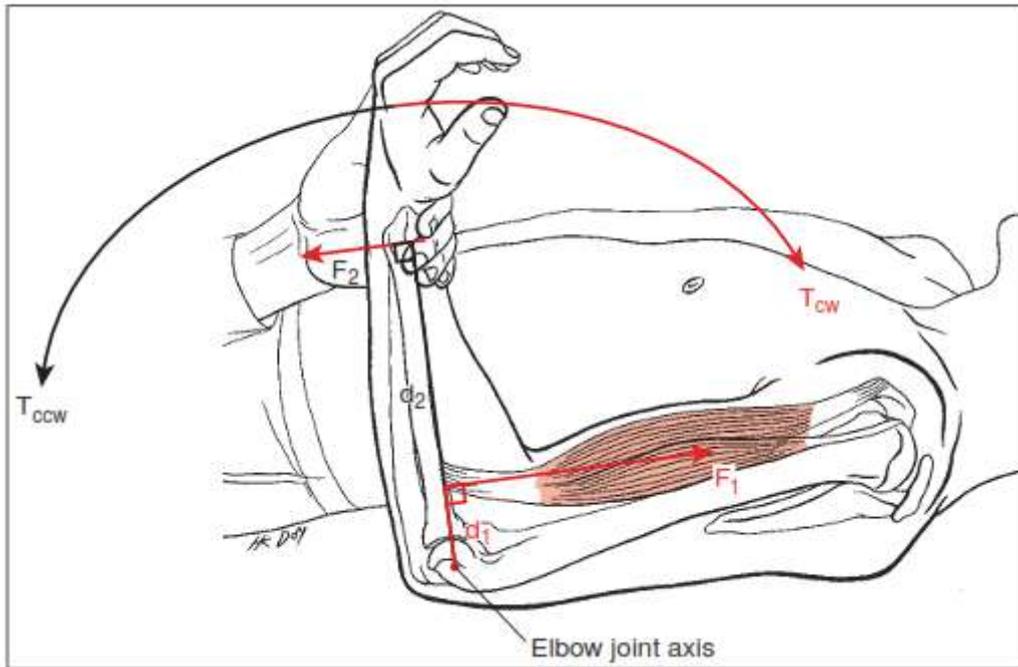
Faktor lain yang mempengaruhi *stretch reflex* dan tonus otot adalah organ tendon. Pada peregangan dan terutama kontraksi otot, reseptor ini terstimulasi. Aferennya tidak langsung ke motoneuron, tetapi melalui interneuron, yang mengirimkan impulsnya ke motoneuron. Fungsi organ tendon diduga mencegah kontraksi berlebihan dan untuk pengerem dan pada saat yang sama memfasilitasi antagonis. Selain itu juga ada yang untuk eksitasi motoneuron sinergis dan inhibisi antagonis. Jadi fungsinya lebih kompleks sebagai tambahan dari organ tendon, ada mekanisme lain yang cenderung untuk menghambat aktivitas motoneuron yang tereksitasi, yaitu inhibisi Renshaw<sup>(5)</sup>.

### V.2.4. Kekuatan otot (strength)

Kekuatan adalah jumlah maksimal dari ketegangan atau kekuatan suatu otot atau kelompok otot untuk dapat mengerahkan satu upaya maksimal. Suatu jenis kontraksi otot, ditentukan oleh kecepatan tungkai, dan sudut sendi. Istilah penggunaan kekuatan otot dalam klinis merupakan torsi<sup>(6)</sup>.

### V.2.5. Torsi (*torque*)

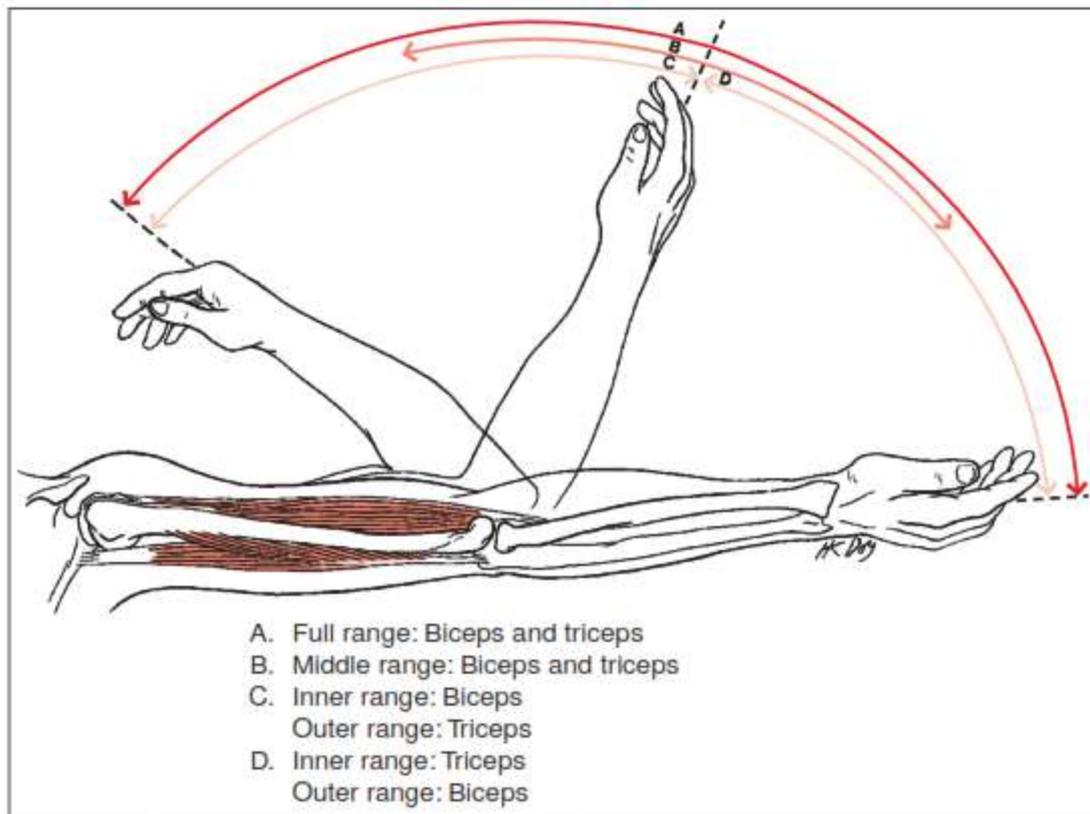
Torsi adalah kecenderungan gaya (yaitu, ketegangan otot, aksi tarikan atau dorongan seorang terapis, atau gravitasi) untuk mengubah tuas (yaitu, anggota tubuh atau segmen ekstremitas) di sekitar sumbu rotasi (yaitu, sumbu sendi rotasi) baik searah jarum jam (cw) atau berlawanan (CCW) arah. Besarnya torsi (T) adalah hasil perkalian dari gaya (F) dan jarak tegak lurus (d) antara sumbu rotasi dan gaya:  $T = F \times d$ <sup>(6)</sup>.



Gambar 5.3. Posisi kontraksi isometrik dan torsionya<sup>(6)</sup>

### V.2.6. Jenis Kontraksi otot

Kontraksi isometrik terjadi ketika dilakukan tegangan di otot tetapi tidak terjadi gerakan, origo dan insertio otot tidak berubah posisi, dan panjang otot tidak berubah. Kontraksi isotonik adalah kontraksi otot dengan ketegangan terhadap beban atau hambatan yang konstan. Kontraksi isokinetik adalah kontraksi otot pada gerakan atau kecepatan yang konstan. Kontraksi konsentris adalah kontraksi otot dimana gerakan yang ditimbulkan lebih mendekatkan origo dan insertio otot sehingga otot lebih pendek; ketika kontraksi otot bicep  $T_{ccw} < T_{cw}$  pada fleksi siku. Kontraksi eksentris adalah kontraksi otot dimana gerakan yang ditimbulkan lebih menjauhkan origo dan insertio otot sehingga otot lebih panjang; ketika kontraksi otot bicep  $T_{ccw} > T_{cw}$  pada fleksi siku<sup>(6)</sup>.



Gambar 5.4. Range of motion dari humerus<sup>(6)</sup>

### V.2.7. Enduransi otot

Daya tahan adalah kemampuan otot atau kelompok otot untuk melakukan kontraksi berulang, terhadap perlawanan, atau mempertahankan kontraksi isometrik untuk jangka waktu tertentu<sup>(6)</sup>.

### V.2.8. Kelelahan otot

Kelelahan otot adalah ketidakmampuan otot untuk meneruskan kontraksi. Seseorang dapat merasakan kelelahan otot secara mental. Saat seseorang masih mampu melakukan kontraksi namun orang tersebut merasa tidak mampu. Kelelahan tersebut disebut kelelahan sentral atau kelelahan psikologis. Kelelahan sentral disebabkan oleh perubahan di sistem saraf pusat. Namun penjelasan mendetail tentang mekanisme kelelahan otot sentral belum diketahui sampai saat ini<sup>(6)</sup>.

Selain kelelahan sentral terdapat pula kelelahan otot dan kelelahan neuromuskular. Salah satu kelelahan otot disebabkan oleh penimbunan asam laktat. Penimbunan asam laktat menyebabkan otot menjadi kurang responsif terhadap rangsangan. Penyebab lainnya adalah kehabisan cadangan energi<sup>(6)</sup>.

Kelelahan neuromuskular sesuai namanya terjadi di percabangan saraf dengan otot. Kelelahan neuromuskular disebabkan oleh ketidakmampuan neuron motorik aktif untuk mensintesis asetilkolin(AcH) secara cepat, sehingga kebutuhan AcH tidak terpenuhi untuk meneruskan potensial aksi dari saraf ke otot<sup>(6)</sup>.

### **V.2.9. Kerja berlebihan (*Overwork*)**

Kerja berlebihan adalah fenomena yang menyebabkan kerugian sementara atau permanen dari kekuatan di otot yang sudah lemah akibat aktivitas atau berolahraga secara berlebihan atau kuat relatif terhadap kondisi pasien<sup>(6)</sup>.

### **V.2.10. Rentang Kerja Otot**

Berbagai di mana otot bekerja mengacu pada otot berubah dari posisi peregangan penuh dan kontraktor untuk posisi pemendekan maksimal. Berbagai dapat lebih tepat dijelaskan jika dibagi menjadi bagian: rentang luar, dalam, dan tengah rentang.

1. Rentang luar adalah dari posisi di mana otot adalah pada peregangan penuh ke posisi isometrik atau pertengahan kontraksi.
2. Rentang dalam adalah dari posisi di mana otot adalah pada posisi isometrik atau pertengahan kontraksi ke kondisi origo dan insertio saling berdekatan.
3. Rentang tengah adalah dari posisi pertengahan rentang luar menuju ke pertengahan rentang dalam<sup>(6)</sup>.

### **V.2.11. Aktif insufisiensi**

Aktif insufisiensi adalah kondisi dari otot yang melintasi dua atau lebih sendi mengalami pemendekan dan tidak dapat melakukan tegangan yang efektif untuk kontraksi<sup>(6)</sup>.

### **V.2.12. *Range of Movement* (ROM)**

ROM (*Range of Motion*) adalah jumlah maksimum gerakan yang mungkin dilakukan sendi pada salah satu dari tiga potongan tubuh, yaitu sagital, transversal, dan frontal. Potongan sagital adalah garis yang melewati tubuh dari depan ke belakang, membagi tubuh menjadi bagian kiri dan kanan. Potongan frontal melewati tubuh dari sisi ke sisi dan membagi tubuh menjadi bagian depan ke belakang. Potongan transversal adalah garis horizontal yang membagi tubuh menjadi bagian atas dan bawah<sup>(7)</sup>.

Mobilisasi sendi disetiap potongan dibatasi oleh ligamen, otot, dan konstruksi sendi. Beberapa gerakan sendi adalah spesifik untuk setiap potongan. Pada potongan sagital, gerakannya adalah fleksi dan ekstensi (jari-jari tangan dan siku) dan hiperekstensi (pinggul). Pada potongan frontal, gerakannya adalah abduksi dan adduksi (lengan dan tungkai) dan eversi dan inversi (kaki). Pada potongan transversal, gerakannya adalah pronasi dan supinasi (tangan), rotasi internal dan eksternal (lutut), dan dorsifleksi dan plantarfleksi (kaki)<sup>(7)</sup>.

Gerakan dapat dilihat sebagai tulang yang digerakkan oleh otot ataupun gaya eksternal lain dalam ruang geraknya melalui persendian. Bila terjadi gerakan, maka seluruh struktur yang terdapat pada persendian tersebut akan terpengaruh, yaitu: otot, permukaan sendi, kapsul sendi, fasia, pembuluh darah dan saraf<sup>(7)</sup>.

Pengertian ROM lainnya adalah latihan gerakan sendi yang memungkinkan terjadinya kontraksi dan pergerakan otot, dimana klien menggerakkan masing-masing persendiannya sesuai gerakan normal baik secara aktif ataupun pasif. Latihan range of motion (ROM) adalah latihan yang dilakukan untuk mempertahankan atau memperbaiki tingkat kesempurnaan kemampuan menggerakkan persendian secara normal dan lengkap untuk meningkatkan massa otot dan tonus otot<sup>(7)</sup>.

Jenis-jenis ROM (Range Of Motion) dibedakan menjadi dua jenis, yaitu<sup>(7)</sup>:

#### 1. ROM Aktif

ROM Aktif yaitu gerakan yang dilakukan oleh seseorang (pasien) dengan menggunakan energi sendiri. Perawat memberikan motivasi, dan membimbing klien dalam melaksanakan pergerakan sendiri secara mandiri sesuai dengan rentang gerak sendi normal (klien aktif). Kekuatan otot 75 %.

Hal ini untuk melatih kelenturan dan kekuatan otot serta sendi dengan cara menggunakan otot-ototnya secara aktif. Sendi yang digerakkan pada ROM aktif adalah sendi di seluruh tubuh dari kepala sampai ujung jari kaki oleh klien sendiri secara aktif.

#### 2. ROM Pasif

ROM Pasif yaitu energi yang dikeluarkan untuk latihan berasal dari orang lain (perawat) atau alat mekanik. Perawat melakukan gerakan persendian klien sesuai dengan rentang gerak yang normal (klien pasif). Kekuatan otot 50 %.

Indikasi latihan pasif adalah pasien semikoma dan tidak sadar, pasien dengan keterbatasan mobilisasi tidak mampu melakukan beberapa atau semua latihan rentang gerak dengan mandiri, pasien tirah baring total atau pasien dengan paralisis ekstermitas total.

Rentang gerak pasif ini berguna untuk menjaga kelenturan otot-otot dan persendian dengan menggerakkan otot orang lain secara pasif misalnya perawat mengangkat dan menggerakkan kaki pasien. Sendi yang digerakkan pada ROM pasif adalah seluruh persendian tubuh atau hanya pada ekstremitas yang terganggu dan klien tidak mampu melaksanakannya secara mandiri

### **V.3. Osteokinematic**

#### **V.3.1. Definisi**

*Osteokinematics* memandang gerakan tuas tulang melalui rentang gerak mereka. Gerakan ini dihasilkan oleh otot. *Osteokinematics* menggambarkan gerakan yang terjadi antara poros dari dua tulang yang berdekatan sebagai dua segmen tubuh yang saling bergerak satu sama lain. Contoh gerak *osteokinematic* adalah gerakan fleksi lengan terhadap humerus pada siku atau gerakan ekstensi lutut yang menimbulkan peningkatan sudut antara tibia dan femur<sup>(2)</sup>.

#### **V.3.2. Jenis Gerak**

Gerak tubuh terdiri dari dua jenis yaitu gerak *translatory* atau *rotatory*.

##### 1. Gerak *Translatory*

Gerak *translatory* atau linier adalah gerakan yang timbul sejajar dengan sumbu. Gerak linier berarti bahwa semua titik pada objek bergerak menempuh jarak yang sama, dalam arah yang sama dengan kecepatan yang sama, dan pada waktu yang sama. Contoh gerak *translatory* adalah gerak elevator naik turun dalam *elevator shaft*. Gerakan ini dalam garis lurus, dan disebut juga *rectilinear*.

*Curvilinear* merupakan bagian lain dari gerak linear yang objeknya berjalan melengkung seperti yang terjadi ketika melempar bola ke teman. Dengan demikian, setiap titik pada objek dapat digunakan untuk menggambarkan jalan objek keseluruhan.

Dalam tubuh manusia, ada beberapa contoh gerakan sendi *translatory* atau linier. Contoh terdekat dari gerakan *translatory* atau linier adalah gerakana menggeser tulang-tulang karpal yang bersebelahan satu sama lain<sup>(2)</sup>.

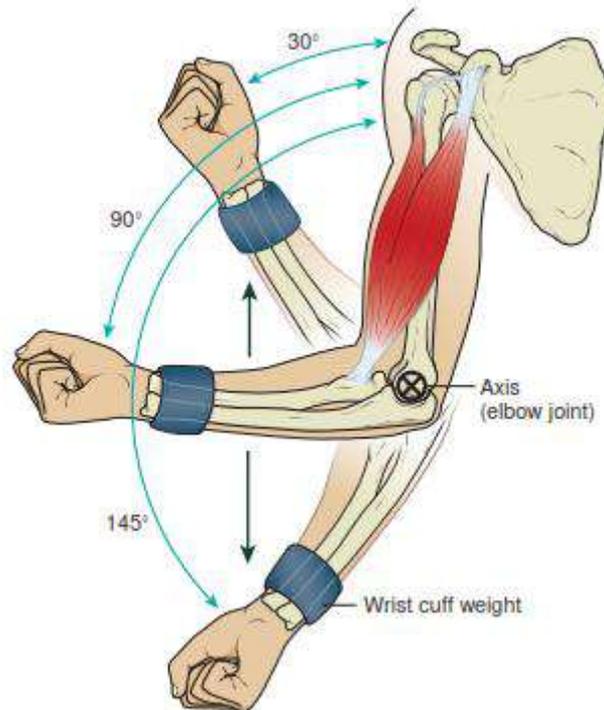
##### 2. Gerak *Rotary*

Gerak *rotary* atau *angular* adalah gerakan yang terjadi dalam lingkaran di sekitar sumbu. Gerakan *Rotary* terjadi di sekitar sumbu atau titik poros, sehingga

setiap titik objek melekat pada sumbu mengikuti busur lingkaran. Setiap titik pada objek bergerak dengan kecepatan yang berbeda, dan kecepatan setiap titik terkait dengan jarak dari sumbu gerak. Contoh dari gerak ini adalah permainan "*crack the whip*" yang umumnya dimainkan pada sepatu es. Orang yang menjadi jangkarnya adalah pusat gerak atau sumbu. Orang terakhir harus bergerak lebih cepat dari orang-orang yang lebih dekat ke pusat pada akhir "*whip*" karena jarak yang harus dilalui lebih jauh dan belum semua anggota "*whip*" menyelesaikan satu putaran pada saat yang sama. Konsep yang sama berlaku ketika Anda memukul bola; pada akhir pukulan bergerak jauh lebih cepat daripada bahu di akhir sumbu, sehingga bola dapat di pukul dengan tongkat lebih banyak daripada yang dapat di lempar dengan lengan. Secara sederhana, gerakan sendi terjadi di sekitar sumbu dan berputar, dimana setiap titik pada segmen tulang berdekatan ke sendi mengikuti lingkaran busur, pusat dari sumbu sendi. Gerakan *rotary* bertempat pada sumbu yang tetap atau relatif tetap, dan titik poros untuk gerak angular atau *rotary* ini disebut sumbu rotasi, yang terletak di dalam atau dekat permukaan sendi. Misalnya, pada fleksi dan ekstensi humerus yang stabil di siku, lengan berputar di sekitar sumbu sendi siku. Setiap titik pada lengan bergerak pada kecepatan yang berbeda, dengan kecepatan dari setiap titik berhubungan dengan jarak dari sumbu gerakan; semakin jauh jarak dari sumbu gerak, semakin besar kecepatan saat itu (Gambar. 5.5) <sup>(2)</sup>.

### **V.3.3. Dampak Gerak *Translatory* dan *Rotary***

Gerak fungsional melibatkan kombinasi gerakan linear dan rotasi. Pada saat berjalan, trunkus dan tubuh secara keseluruhan bergerak dalam arah maju untuk menciptakan sebuah gerakan *translatory* tubuh ke depan, tapi gerak tubuh ke depan ini diproduksi oleh gerakan berputar pinggul, lutut, dan pergelangan kaki. Ekstremitas atas menggabungkan gerakan rotasi di bahu, siku, radioulnar, dan pergelangan tangan sendi untuk menyediakan jalur *translatory* untuk melempar selama permainan bisbol <sup>(2)</sup>.



Gambar 5.5. Gerak pada sendi digambarkan sebagai gerakan sudut. Perhatikan perbedaan jarak yang ditempuh di berbagai titik disegmen tubuh<sup>(2)</sup>

### V. 3.4. Derajat Kebebasan Gerakan Sendi

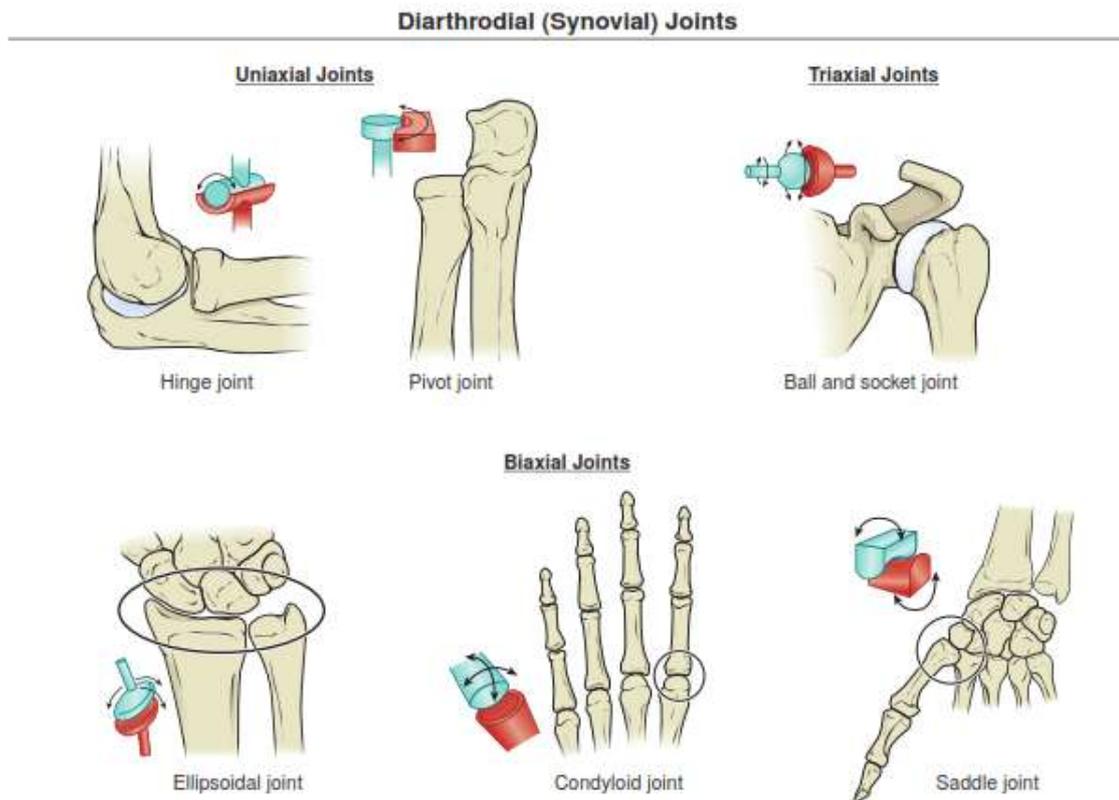
Kemampuan tubuh untuk mengubah sudut gerakan sendi menjadi gerak *translatory* efisien melibatkan derajat kebebasan gerak. Derajat kebebasan adalah jumlah bidang di mana sendi bergerak. Mengingat bahwa tubuh bergerak dalam tiga bidang gerak, derajat kebebasan maksimal dengan tiga tingkatan juga<sup>(2)</sup>.

#### 1. Sendi Uniaksial

Sendi yang bergerak dalam satu bidang di sekitar satu sumbu gerak memiliki satu derajat kebebasan disebut sendi uniaksial (bergerak sekitar sumbu tunggal), secara struktural anatomi terdiri dari dua tipe yaitu sendi engsel (*hinge joint*) atau sendi putar (*pivot joint*)<sup>(2)</sup>. *Hinge joints* adalah sendi yang memungkinkan gerakan satu arah. *Pivot joints* (sendi putar) adalah sendi yang memungkinkan gerakan berputar (rotasi)<sup>(8)</sup>. Contoh dari sendi engsel uniaksial adalah sendi siku dan interphalangeal, yang melakukan gerakan fleksi dan ekstensi pada bidang sagital sekitar sumbu medial-lateral. Sendi uniaksial lainnya adalah sendi radioulnar yang melakukan supinasi dan pronasi dalam bidang transversal sekitar sumbu memanjang atau vertikal. Singkatnya, sendi uniaksial adalah sendi yang gerakannya terbatas dalam satu bidang dengan sumbu tunggal (Gambar 5.6 dan Tabel 5.1)<sup>(2)</sup>.

## 2. Sendi biaksial

Sendi yang bergerak di sekitar dua sumbu dalam dua bidang gerak dan sendi memiliki dua derajat kebebasan gerak di sebut sendi biaksial. Struktur yang termasuk dalam sendi ini adalah: *condyloid*, *ellipsoidal*, dan *saddle* (pelana) (Gambar 5.6 dan Tabel 5.1)<sup>(2)</sup>. Sendi condyloidea mempunyai dua permukaan konveks yang bersendi dengan dua permukaan konkaf. Gerakan yang mungkin dilakukan adalah fleksi, ekstensi, abduksi, aduksi dan sedikit rotasi. Contohnya sendi metacarpophalangea. Sendi elipsoidea facies artikularisnya berbentuk konveks elips yang sesuai dengan facies artikularis berbentuk konkaf elips. Gerakan yang mungkin dilakukan adalah fleksi, ekstensi, abduksi dan aduksi. Contoh sendi ini adalah articulatio radiocarpalis. Pada sendi pelana facies artikularisnya berbentuk konkaf konveks yang saling berlawanan dan mirip dengan pelana pada punggung kuda. Sendi ini dapat melakukan gerakan fleksi, ekstensi, abduksi, aduksi dan rotasi. Contoh sendi ini adalah articulatio carpometacarpalis pollicis<sup>(9)</sup>.



Gambar 5.6. Struktur sendi: *diarthrodial* (*synovial*); *hinge*, *condyloid*, *ellipsoidal*, *saddle*, *pivot*, dan *ball and socket*<sup>(2)</sup>

Tabel 5.1. Klasifikasi Sendi Berdasarkan Struktur dan Fungsinya<sup>(2)</sup>

Type	Structure/ Shape	Primary Function	Motion	Example
<b>I. Synarthrosis</b> Syndesmosis	Fibrous	Stability, shock absorption and force transmission	Very slight	Tibiofibular articulation
<b>II. Amphiarthrosis</b>	Cartilaginous	Stability with specific and limited mobility	Limited	Pubic symphysis Intervertebral joints 1 <sup>st</sup> sternocostal joint
<b>III. Diarthrosis</b>	Synovial w/ligaments	Mobility	Free according to degrees of freedom	
a. Nonaxial	Irregular plane surfaces	Contributory motion	Gliding	Between carpal bones between tarsal bones
b. Uniaxial 1° freedom	Hinge (ginglymus: Greek: hinge)	Motion in sagittal plane	Flexion, extension	Elbow, interphalangeal joints of fingers and toes, knee, ankle
	Pivot Trochoid: Greek: wheel shape)	Motion in transverse plane	Supination, pronation, inversion, eversion	Forearm, subtalar joint of foot, atlas on axis
c. Biaxial 2° freedom	Condyloid : Generally spherical convex surface paired with a shallow concave surface Ellipsoidal: Somewhat flattened convex surface paired with a fairly deep concave surface Saddle: Each partner has a concave and convex surface oriented perpendicular to each other; like a rider in a saddle	Motion in sagittal and frontal planes	Flexion and extension, abduction and adduction	Metacarpophalangeal joints in hand and foot
		Motion in sagittal and frontal planes	Flexion and extension, radial and ulnar deviation	Radiocarpal joint at wrist
		Motion in sagittal and frontal planes with some motion in transverse plane	Flexion and extension, abduction and adduction, opposition of thumb	Carpometacarpal joint of thumb
d. Triaxial 3° freedom	Ball and socket: a spherical type "ball" paired with a concave cup	Motion in all three planes: sagittal, frontal and transverse	Flexion and extension, abduction and adduction, rotation (medial and lateral)	Shoulder, hip

### 3. Sendi triaksial

*Ball and socket joint*, seperti sendi hip dan glenohumeral, adalah sendi triaksial dan mempunyai tiga derajat kebebasan gerak. Gerakan berlangsung di sekitar tiga sumbu utama dan semuanya melewati pusat sendi rotasi. Pada hip dan shoulder, sumbu geraknya sama: sumbu untuk fleksi-ekstensi memiliki arah medial-lateral; sumbu untuk abduksi-adduksi memiliki arah anterior-posterior; dan sumbu untuk rotasi arah superiorinferior.

Tiga derajat kebebasan gerak adalah jumlah terbesar derajat gerak sendi yang dapat dimiliki (Gambar 5.6 dan Tabel 5.1)<sup>(2)</sup>.

### V. 3.5. Goniometri Klinis

Goniometri berasal dari bahasa Yunani, *gonia* (sudut) dan *metron* (pengukuran). Goniometri adalah pengukuran klinis yang bermanfaat untuk menentukan kuantitas gerak sendi, baik secara aktif maupun pasif. Goniometri mengukur posisi relatif dari dua segmen tulang, dan mengukur serta merekam gerak *osteokinematic* di sendi. Meskipun peralatan analisis gerak sendi canggih tersedia di laboratorium klinis, goniometer adalah yang paling sering digunakan alat. Sebuah goniometer tampak seperti busur derajat dengan dua lengan berengsel di titik tumpu, atau sumbu. Lengan dari goniometer ditempatkan sejajar dengan gabungan dua segmen tubuh dengan sumbu goniometer ini ditumpangkan pada sendi (Gambar. 5.7)<sup>(2)</sup>.



Gambar 5.7. Aplikasi goniometer untuk mengukur posisi siku pada bidang sagital. Lengan stasioner goniometer sejajar dengan sumbu panjang lengan subjek. Lengan bergerak dari goniometer sejajar dengan sumbu panjang lengan bawah, dan sumbu atau titik tumpu dari goniometer yang ditempatkan di atas sumbu sendi siku<sup>(2)</sup>

Goniometer mengukur berbagai gerak sendi tubuh di setiap bidang gerakan, seperti fleksi glenohumeral, abduksi pinggul, dan supinasi lengan<sup>(2)</sup>.

Pengukuran goniometrik adalah alat yang berguna untuk perawatan kesehatan profesional dalam menilai dan merekam kemajuan atau perubahan dalam gerakan selama pengobatan kondisi patologis. Banyak buku memberikan nilai untuk rentang gerak dewasa

normal, tetapi tabel standar yang normal membandingkan semua variabel yang terlibat seperti usia, seks, bentuk tubuh, dan jenis gerak (aktif atau pasif) belum ditetapkan<sup>(2)</sup>.

Tabel 5.2 menampilkan nilai goniometrik yang dapat digunakan sebagai pedoman untuk perkiraan rentang gerak sendi yang normal pada orang dewasa normal. Adanya variasi individu dalam bentuk dan tipe tubuh, maka digunakan nilai-nilai standar sebagai referensi, tetapi yang paling penting untuk menggunakan individu "normal" sendiri untuk perbandingan terpercaya dengan mengukur segmen ekstremitas yang tidak terlibat, atau kontralateral, dengan asumsi bahwa itu ada dan utuh. Pada Tabel 1-2, nilai-nilai dalam huruf tebal adalah nomor bulat yang mudah untuk diingat sebagai jumlah gerak yang normal untuk sendi ekstremitas. Nilai dalam kurung adalah jangkauan dari rata-rata gerakan normal yang dilaporkan dari beberapa sumber<sup>(2)</sup>.

Tabel 5.2. Ringkasan Rentang Gerak Sendi<sup>(2)</sup>

<b>SHOULDER</b>	flexion <b>0° to 180°</b> (150° to 180°) extension <b>0°</b> hyperextension <b>0° to 45°</b> (40° to 60°) abduction <b>0° to 180°</b> (150° to 180°) medial rotation <b>0° to 90°</b> (70° to 90°) lateral rotation <b>0° to 90°</b> (80° to 90°)
<b>ELBOW</b>	flexion <b>0° to 145°</b> (120° to 160°) extension <b>0°</b>
<b>FOREARM</b>	supination <b>0° to 90°</b> (80° to 90°) pronation <b>0° to 80°</b> (70° to 80°)
<b>WRIST</b>	neutral when the midline between flexion and extension is 0° and when forearm and third metacarpal are in line flexion <b>0° to 90°</b> (75° to 90°) extension <b>0° to 70°</b> (65° to 70°) radial deviation/abduction <b>0° to 20°</b> (15° to 25°) ulnar deviation/adduction <b>0° to 30°</b> (25° to 40°)
<b>FINGERS</b>	MCP flexion <b>0° to 90°</b> (85° to 100°) MCP hyperextension <b>0° to 20°</b> (0° to 45°) MCP abduction <b>0° to 20°</b> MCP adduction <b>0°</b> PIP flexion <b>0° to 120°</b> (90° to 120°) DIP flexion <b>0° to 90°</b> (80° to 90°) IP extension <b>0°</b>
<b>THUMB</b>	MCP flexion <b>0° to 45°</b> (40° to 90°) MCP abduction and adduction (NEGLIGIBLE) IP flexion <b>0° to 90°</b> (80° to 90°)
<b>HIP</b>	flexion <b>0° to 120°</b> (110° to 125°) hyperextension <b>0° to 10°</b> (0° to 30°) abduction <b>0° to 45°</b> (40° to 55°) adduction <b>0°</b> (30° to 40° across midline) lateral rotation <b>0° to 45°</b> (40° to 50°) medial rotation <b>0° to 35°</b> (30° to 45°)
<b>KNEE</b>	flexion <b>0° to 120°</b> (120° to 160°) extension <b>0°</b>
<b>ANKLE/FOOT</b>	neutral with foot at a right angle to the leg and knee flexed plantarflexion <b>0° to 45°</b> (40° to 50°) dorsiflexion <b>0° to 15°</b> (10° to 20°) inversion and eversion (see Chapter 11).
<b>TOES</b>	MTP flexion <b>0° to 40°</b> (30° to 45°) MTP hyperextension <b>0° to 80°</b> (50° to 90°) MTP abduction (slight) IP flexion <b>0° to 60°</b> (50° to 80°) IP extension <b>0°</b>

### V. 3.6. Rantai Kinematik

Kombinasi dari beberapa sendi yang menyatukan segmen berturut, dalam kinesiologi, disebut rantai kinematik. Gerakan terjadi dalam tubuh manusia karena kombinasi beberapa sendi ini bekerja bersama untuk memberikan hasil yang diinginkan. Misalnya, meraih sebuah buku di rak perpustakaan adalah contoh dari konsep ini dimana lengan sebagai rantai sendi dari tulang belikat, dada, bahu, siku, lengan bawah, dan pergelangan tangan ke jari dan ibu jari yang semuanya bekerja sama dalam rantai gerakan ini untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan. Kita dapat mengambil contoh ini langkah lebih lanjut, dan juga mengidentifikasi link dari leher, batang, panggul, dan anggota tubuh bagian bawah yang dapat digunakan untuk meraih buku di rak atas. Dalam contoh ini, link pada ekstremitas atas bebas bergerak (membuka) dan menawarkan mobilitas yang diperlukan untuk melaksanakan tugas. Namun, sendi ekstremitas bawah adalah tetap (tertutup) tapi sama penting untuk tugas ini.

Hal ini penting untuk mengenali bahwa gerakan manusia adalah kombinasi dari gerakan rantai kinetik terbuka dan tertutup. Rantai kinetik atau kinematik ini digunakan untuk menggambarkan atau menganalisis keterampilan gerakan. Rantai kinematis terdiri dari rantai kinematik terbuka (Open Kinematic Chains/OKC) atau rantai kinematik tertutup (Closed Kinematic Chains/CKC)<sup>(2)</sup>.

Dalam rantai kinematik terbuka (OKC), segmen distal dari rantai bergerak dalam ruang sedangkan dalam rantai kinematik tertutup (CKC), segmen distal adalah tetap, dan bagian proksimal bergerak. Gerakan rantai terbuka terjadi ketika meraih sebuah objek, membawa tangan ke mulut, atau menendang bola (Gambar. 5.8A). Dalam gerakan rantai terbuka, gerakan segmen tidak tergantung pada segmen yang lain, sehingga satu segmen dapat bergerak atau tidak bergerak, terlepas dari apa yang dilakukan segmen lain dalam rantai. Gerakan rantai terbuka sangat bervariasi karena semua sendi berpartisipasi bebas untuk berkontribusi apapun jumlah derajat gerak dengan gerakan seluruh unit. Gerakan rantai terbuka diperlukan untuk banyak gerakan ekstremitas terampil, dan karena variabilitas begitu tinggi, stabilitas dikorbankan untuk mobilitas dan risiko gerakan terampil dan bahkan risiko cedera terjadi. Gerakan rantai terbuka juga memproduksi gerak lebih cepat dari gerakan rantai tertutup<sup>(2)</sup>.

Sama pentingnya untuk fungsi sehari-hari adalah gerakan rantai tertutup. Gerakan rantai tertutup terjadi ketika segmen distal adalah tetap dan segmen proksimal bergerak. Gerakan rantai tertutup terjadi selama kegiatan mengangkat dagu, *push-up*, berdiri dari posisi duduk, atau latihan setengah jongkok (Gambar. 5.8B). Gerakan dari satu segmen dalam

gerakan rantai tertutup membutuhkan gerakan semua segmen. Ketika pergelangan kaki mulai bergerak, lutut dan *hip* juga harus bergerak; pergelangan kaki tidak dapat bergerak secara independen dari dua sendi lainnya pada ekstremitas bawah. Ketika seseorang menggunakan sandaran tangan kursi untuk membantu berdiri dari kursi (atau melakukan push-up), tangan tetap dan lengan bawah serta bahu bergerak untuk tangan, lengan bergerak menjauh dari lengan bawah (siku ekstensi), dan lengan bergerak ke arah trunkus (bahu adduksi). Kegiatan rantai kinematik tertutup tidak memiliki kecepatan gerak seperti yang kegiatan rantai terbuka hasilkan, tetapi mereka memberikan lebih banyak tenaga dan kekuatan untuk kegiatan fungsional<sup>(2)</sup>.

Rantai kinematik terbuka dan terjadi pada segmen yang berbeda selama gerak fungsional tubuh. Sebagian kegiatan tubuh manusia melibatkan kombinasi rantai terbuka dan tertutup. Berjalan adalah contoh yang baik; kita berada dalam posisi rantai tertutup ketika kita menempatkan berat badan kita pada tungkai dan dalam rantai terbuka ketika tungkai di ayun ke depan<sup>(2)</sup>.



Gambar 5.8. A. Ketika pemain mengayun untuk menendang bola, segmen distal dari ekstremitas atas bergerak bebas (rantai kinematik terbuka), ujung distal dari ekstremitas bawah juga dalam rantai terbuka, sedangkan ujung distal dari ekstremitas bawah kiri adalah dalam sikap tetap (rantai kinematik tertutup). B. Saat melakukan push-up, segmen distal ekstremitas atas dan bawah adalah tetap (rantai kinematik tertutup)<sup>(2)</sup>

#### **V.4. Arthrokinematics**

Meskipun sendi manusia telah dibandingkan dengan bentuk geometrik dan sendi mekanis seperti engsel (*hinge*), poros (*pivot*), bidang (*plane*), bola (*sphere*), dan kerucut (*cone*), gerakan indah dan kemampuan sendi manusia jauh lebih rumit dari perbandingan geometris sederhana ini. Faktanya bahwa tidak ada sendi manusia di seluruh tubuh yang belum pernah direplikasi memuaskan oleh desain penggantian sendi merupakan bukti kelengkapan dan kecanggihan sendi tubuh<sup>(2)</sup>.

##### **V.4.1. Definisi**

*Osteokinematics* fokus dengan gerakan poros tulang dan terutama di bawah kontrol *unvoluntary*, sedangkan *arthrokinematics* fokus dengan bagaimana kedua permukaan sendi berartikulasi satu sama lain menghasilkan gerak. Salah satu faktor yang membuat kompleksitas sendi manusia adalah gerakan *arthrokinematic* mereka. Meskipun gerakan ini tidak *voluntary*, mereka sangat penting untuk fungsi dan mobilitas sendi yang normal.

Sendi dapat diklasifikasikan secara struktural dan fungsional dengan menjelaskan jenis dan jumlah gerak yang timbul. Hal ini akan memperlihatkan bahwa struktur dan fungsi terkait erat: struktur memungkinkan untuk tujuan fungsional dalam gerakan dan kebutuhan fungsional sebenarnya menggambarkan strukturnya. Secara fungsional, beberapa jenis sendi terutama bertanggung jawab untuk stabilitas sedangkan yang lain terutama untuk mobilitas<sup>(2)</sup>.

##### **V.4.2. Struktur Sendi**

Arthrology berasal dari bahasa Yunani, *arthron* yang berarti sendi. Arthrology adalah studi tentang klasifikasi, struktur, dan fungsi sendi. Struktur dan fungsi sendi berkaitan erat sekali, seperti yang akan kita lihat di bagian berikut yang jelas menunjukkan bahwa memahami anatomi atau struktur sendi mengantar kita untuk memahami bagaimana sendi berfungsi dan sebaliknya. Sistem klasifikasi sendi yang paling umum dan paling sederhana berfokus pada struktur sendi dengan identifikasi tiga jenis utama: *synarthrosis*, *amphiarthrosis*, dan *diarthrosis* (Tabel 5.1)<sup>(2)</sup>.

###### **a. Sendi *Synarthrodial***

Sendi yang tujuan utamanya adalah untuk stabilitas adalah sendi yang sebagian besar terdiri dari struktur *fibrous*. Sendi ini adalah *synarthroses* (kata benda, jamak) atau sendi *synarthrodial* (kata sifat). Nama-nama ini harus mudah diingat karena seperti yang

Anda tahu, awalan *syn* berasal dari bahasa Yunani yang berarti "bersama-sama" atau "bergabung," sangat menggambarkan fungsi dari jenis sendi ini. Sendi ini terikat oleh jaringan ikat fibrosa, yang dikenal dengan kekuatan, dan kesesuaian antara dua segmen tulang sangat ketat, dengan permukaan sendi yang sangat kongruen. Contoh struktur sendi *synarthrodial* adalah sutura kranium; yang sangat stabil, erat, dan cocok seperti sangat potongan puzzle. Sendi *synarthrodial* selanjutnya dibagi menjadi sub tipe utama yang selanjutnya menggambarkan hubungan antara struktur dan fungsinya<sup>(2)</sup>.

Sendi *syndesmosis* adalah sendi *synarthrodial* seperti pada sendi antara radius dan ulna dan antara tibia dan fibula. Sendi *syndesmosis* bergabung dengan membran interosea kuat, di mana hubungan pasangan tulang ini sangat erat satu sama sehingga hanya memungkinkan sedikit atau tanpa gerakan (Gambar 5.9)<sup>(2)</sup>.

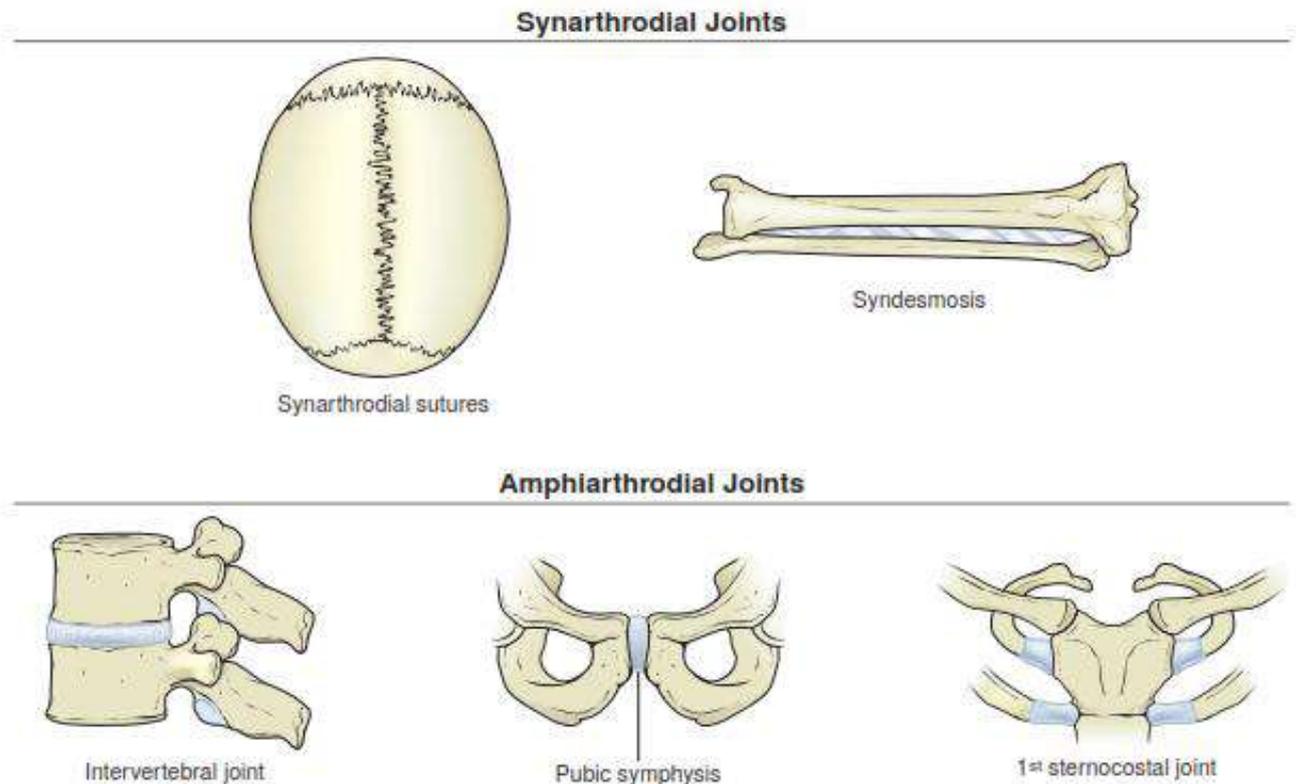
b. Sendi *Amphiarthrodial*

Sendi yang memungkinkan stabilitas dan mobilitas disebut *amphiarthrosis* (kata benda) atau sendi *amphiarthrodial* (kata sifat). Awalan *amphi* berasal dari bahasa Yunani "di kedua belah pihak" atau "ganda," sangat menggambarkan fungsi dari jenis sendi ini. Sendi *Amphiarthrodial* ditandai oleh struktur tulang rawan dengan kombinasi tulang rawan fibrous dan hialin (atau artikular) dan biasanya memiliki diskus di antara tulang. Diskus berfungsi untuk mengencangkan ikatan antara dua tulang dan untuk shock absorpsi. Contoh sendi *amphiarthrodial* termasuk sendi intervertebralis tulang belakang, simfisis pubis, dan sternocostal pertama. Semua sendi ini memiliki stabilitas yang sangat baik dan mobilitas yang sangat spesifik atau terbatas. Simfisis pubis, misalnya, stabil sebagian besar waktu, tetapi selama kehamilan, diskus melunak dan ligamen pendukungnya menjadi lemah secara bertahap oleh perubahan hormonal sehingga ketika waktu melahirkan, sendi menyediakan mobilitas yang diperlukan untuk memungkinkan kelahiran bayi (Gambar 5.9)<sup>(2)</sup>.

c. Sendi *Diarthrodial*

Sendi yang tujuannya adalah untuk memberikan mobilitas disebut *diarthrosis* (kata benda) atau sendi *diarthrodial* (kata sifat). Awalan *di-* bermakna "dua kali, ganda atau dua," menggambarkan fakta bahwa fungsi jenis sendi ini memungkinkan hampir semua gerakan; sendi ini memiliki beberapa fitur anatomi yang memastikan stabilitas yang diperlukan untuk fungsi gerakan yang dimungkinkan. Komponen struktural utama sendi *diarthrodial* adalah semua memiliki kapsul sendi. Kapsul ini menghubungkan ujung distal dari satu sendi ke ujung proksimal sendi lainnya. Kapsul mempertahankan

sejumlah kecil cairan, disebut cairan sinovial, dalam ruang sendi. Hal ini menyebabkan sendi *diarthrodial* disebut juga sendi sinovial (Gambar 5.6)<sup>(2)</sup>.



Gambar 5.9. Struktur sendi: *synarthrodial* dan *amphiarthrodial*<sup>(2)</sup>

## DAFTAR PUSTAKA

1. Neuman, D.A. 2010. Kinesiology of the Musculoskeletal System Foundations for Rehabilitation. 2<sup>nd</sup> edition. Missouri: Mosby Elsevier.
2. Houglum, P.A., Bertoti, D.B. 2012. Brunnstrom's Clinical Kinesiology. 6<sup>th</sup> edition. Philadelphia: E.A. Davis Company.
3. Seidenberg, P.H., Beutler, A.I. 2008. The sports medicine resource manual. Philadelphia: Saunders Elsevier.
4. Thibodeau, G.A., Patton, K.T. 2003. Anthony's Textbook of Anatomy & Physiology. St. Louis, Missouri: Elsevier.
5. Tucker H.C. 1983. The Neurophysiology of Tone: The Role of The Muscle Spindle and The Stretch Reflex. The Australian Journal of Phsyotherapy, vol. 29.
6. Clarkson H.M. 2013. Muskuloskeletal assessment: Joint motion and muscle testing. Canada: Lippincot William & Wilkins.
7. Potter, P.A, Perry, A.G. 2005. Buku Ajar Fundamental Keperawatan: Konsep, Proses, dan Praktik. Edisi 4, Volume 2, Alih Bahasa: Renata Komalasari, dkk. Jakarta: EGC.
8. Drake R.L., Vogl W., Mitchell A.W.M. 2008. Gray's Anatomy for Students. 40<sup>th</sup> ed. London: Churchill Livingstone.
9. Snell, R.S. 2008. Anatomi Klinik Berdasarkan Sistem. Alih Bahasa oleh Liliana Sugiharto, dkk. Jakarta: EGC.

## BAB VI

### OTOT-OTOT DALAM PERSENDIAN

#### VI.1. Otot Fleksi dan Extensi dalam Persendian

Ringkasan gerakan otot fleksi dan ekstensi di seluruh tubuh terdapat pada tabel sebagai berikut (untuk gambar lihat di lampiran):

Tabel 6.1. Jenis otot fleksi dan ekstensi di kepala dan leher<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Longus capitis</i>	<i>Anterior tubercles of transverse processes of C3–C6</i>	<i>Inferior surface of basilar part of occipital bone</i>	<i>Ventral rami of cervical nerves (C1–C4)</i>	<b>Flexes</b> and assists in rotating cervical vertebrae and head	<i>Ascending cervical branch of inferior thyroid artery, ascending pharyngeal artery, muscular branches of vertebral artery</i>
<i>Longus colli</i>	<i>Vertical portion: C5–T3 vertebrae</i>	<i>Vertical portion: into C2–C4 vertebrae</i>	<i>Ventral primary rami of cervical nerves (C2–C8)</i>	<i>Bilaterally: flex and assist in rotating cervical vertebrae and head</i>	<i>Prevertebral branches of ascending pharyngeal artery, muscular branches of ascending cervical and vertebral arteries</i>
	<i>Inferior oblique portion: T1–T3 vertebrae</i>	<i>Inferior oblique portion on anterior tubercles of transverse processes of C5–C6 vertebrae</i>			
	<i>Superior oblique portion: anterior tubercles of transverse processes of C3–C5 vertebrae</i>	<i>Superior oblique portion: tubercle of anterior arch of atlas</i>		<i>Unilaterally: flexes vertebral column laterally</i>	
<i>Rectus capitis anterior</i>	<i>Lateral mass of atlas</i>	<i>Base of occipital bone in front of foramen magnum</i>	<i>Ventral rami of cervical nerves (C1–C2)</i>	<b>Flexes</b> head	<i>Muscular branches of vertebral artery, ascending pharyngeal artery</i>
<i>Rectus capitis lateralis</i>	<i>Upper surface of transverse process of atlas</i>	<i>Inferior surface of jugular process of occipital bone</i>	<i>Ventral rami of cervical nerves (C1–C2)</i>	<b>Flexes</b> head laterally to same side	<i>Muscular branches of vertebral artery, occipital artery, ascending pharyngeal artery</i>
<i>Sternocleidomastoid</i>	<i>Sternal head: anterior surface of manubrium</i>	<i>Lateral surface of mastoid process; lateral half of superior nuchal line of occipital bone</i>	<i>Accessory nerve (CN XI)</i>	<i>Bilaterally: flex head, raise thorax</i>	<i>Sternocleidomastoid branch of superior thyroid and occipital arteries, muscular branch of suprascapular artery, occipital branch of posterior auricular artery</i>
	<i>Clavicular head: upper surface of medial 1/3 of clavicle</i>			<i>Unilaterally: turns face toward opposite side</i>	
<i>Erector spinae</i>	<i>Posterior sacrum, iliac crest, sacrospinous</i>	<i>Iliocostalis: angles of lower ribs, cervical transverse</i>	<i>Dorsal rami of each region</i>	<b>Extends</b> and laterally bends vertebral column	<i>Cervical portions: occipital, deep cervical, and</i>

	ligament, supraspinous ligament, spinous processes of lower lumbar and sacral vertebrae	processes Longissimus: between tubercles and angles of ribs, transverse processes of thoracic and cervical vertebrae, mastoid process Spinalis: spinous processes of upper thoracic and midcervical vertebrae		and head	vertebral arteries Thoracic portions: dorsal branches of posterior intercostal, subcostal, and lumbar arteries Sacral portions: dorsal branches of lateral sacral arteries
<i>Obliquus capitis superior</i>	Transverse process of atlas	Occipital bone	Suboccipital nerve	<b>Extends</b> and bends head laterally	Vertebral artery, descending branch of occipital artery
<i>Rectus capitis posterior major</i>	Spine of axis	Inferior nuchal line	Suboccipital nerve	<b>Extends</b> and rotates head to same side	Vertebral artery, descending branch of occipital artery
<i>Rectus capitis posterior minor</i>	Tubercle of posterior arch of atlas	Median inferior nuchal line	Suboccipital nerve	<b>Extends</b> head	Vertebral artery, descending branch of occipital artery
<i>Semispinalis</i>	Transverse processes of C4–T12	Spinous processes of cervical and thoracic regions	Dorsal rami of spinal nerves	<b>Extends</b> head, neck, and thorax and rotates them to opposite side	Cervical portions: occipital, deep cervical, and vertebral Thoracic portions: dorsal branches of posterior intercostal arteries
<i>Splenius capitis</i>	Nuchal ligament, spinous process of C7–T3	Mastoid process of temporal bone, lateral third of superior nuchal line	Dorsal rami of middle cervical nerves	Bilaterally: <b>extend</b> head Unilaterally: laterally bends ( <b>flexes</b> ) and rotates face to same side	Descending branch of occipital artery, deep cervical artery
<i>plenius cervicis</i>	Spinous process of T3–T6	Transverse processes (C1–C3)	Dorsal rami of lower cervical nerves	Bilaterally: <b>extend</b> neck Unilaterally: laterally bends ( <b>flexes</b> ) and rotates neck toward same side	Descending branch of occipital artery, deep cervical artery

Tabel 6.2. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi bahu<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Latissimus dorsi</i>	Spinous processes of T7–L5, thoracolumbar fascia, iliac crest,	humerus (intertubercular sulcus)	Thoracodorsal nerve	<b>Extends</b> , adducts, and medially rotates humerus	Thoracodorsal artery, dorsal perforating branches of

	and last three ribs				9th, 10th, and 11th posterior intercostal, subcostal, and first three lumbar arteries
<i>Pectoralis major</i>	Sternal half of clavicle, sternum to 7th rib, cartilages of true ribs, aponeurosis of external oblique muscle	Lateral lip of intertubercular sulcus of humerus	Medial and lateral pectoral nerves	Flexes and adducts arm, rotates arm medially	Pectoral branch of thoraco-acromial artery, perforating branches of internal thoracic artery
<i>Coracobrachialis</i>	Tip of coracoid process of scapula	Middle third of medial surface of humerus	Musculocutaneous nerve	Flexes and adducts arm at shoulder	Muscular branches of brachial artery
<i>Triceps brachii</i>	Long head: infraglenoid tubercle of scapula	Posterior surface of olecranon process of ulna	Radial nerve	Extends forearm at elbow; long head stabilizes head of abducted humerus and extends and adducts arm at shoulder	Branch of profunda brachii artery
	Lateral head: upper half of posterior humerus				
	Medial head: distal 2/3 of medial and posterior humerus				
<i>Deltoid</i>	Lateral third of anterior clavicle, lateral acromion, inferior edge of spine of scapula	Deltoid tuberosity of humerus	Axillary nerve	Clavicular part: flexes and medially rotates arm Acromial part: abducts arm beyond initial 15 degrees done by supraspinatus Spinal part: extends and laterally rotates arm	Posterior circumflex humeral artery, deltoid branch of thoraco-acromial artery

Tabel 6.3. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi siku<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Anconeus</i>	Posterior surface of lateral epicondyle of humerus	Lateral surface of olecranon and posterior proximal ulna	Radial nerve (C5–T1)	Assists triceps in extending elbow, abducts ulna in pronation	Deep brachial artery
<i>Biceps brachii</i>	Long head: supraglenoid tubercle of scapula	Radial tuberosity, fascia of forearm via bicipital aponeurosis	Musculocutaneous nerve (C5,C6)	Flexes and supinates forearm at elbow	Muscular branches of brachial artery
	Short head: tip of coracoid process of scapula				
<i>Brachialis</i>	Distal half of anterior surface of humerus	Coronoid process and tuberosity of ulna	Musculocutaneous nerve and radial nerve (C7)	Flexes forearm at elbow	Radial recurrent artery, muscular branches of brachial artery
<i>Pronator teres</i>	Two heads: medial epicondyle of humerus and coronoid process of ulna	Midway along lateral surface of radius	Median nerve	Pronates forearm and assists with elbow flexion	Anterior ulnar recurrent artery

Triceps brachii	Long head: infraglenoid tubercle of scapula	Posterior surface of olecranon process of ulna	Radial nerve	Extends forearm at elbow; long head stabilizes head of abducted humerus and extends and adducts arm at shoulder	Branch of profunda brachii artery
	Lateral head: upper half of posterior humerus				
	Medial head: distal 2/3 of medial and posterior humerus				

Tabel 6.4. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi pergelangan tangan<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
Extensor carpi radialis brevis	Lateral epicondyle of humerus	Dorsal base of 3rd metacarpal and slip to 2nd metacarpal	Radial nerve (deep branch)	Extends and abducts hand at wrist	Radial artery, radial recurrent artery
Extensor carpi radialis longus	Distal third of lateral supracondylar ridge of humerus	Dorsal base of 2nd metacarpal and slip to 3rd metacarpal	Radial nerve	Extends and abducts hand at wrist	Radial artery, radial recurrent artery
Extensor carpi ulnaris	Lateral epicondyle of humerus and posterior border of ulna	Dorsal base of 5th metacarpal	Radial nerve (posterior interosseous)	Extends and adducts hand at wrist	Posterior interosseous artery
Extensor digitorum	Lateral epicondyle of humerus	Extensor expansions of medial four digits	Radial nerve (posterior interosseous)	Extends medial four digits, assists in wrist extension	Posterior interosseous artery
Extensor indicis	Posterior surface of ulna and interosseous membrane	Extensor expansion of 2nd digit	Radial nerve (posterior interosseous)	Extends 2nd digit and helps extend hand at wrist	Posterior interosseous artery
Flexor carpi radialis	Medial epicondyle of humerus	Base of 2nd metacarpal	Median nerve	Flexes and abducts hand at wrist	Radial artery
Flexor carpi ulnaris	Humeral head: medial epicondyle of humerus	Pisiform bone, hook of hamate, base of 5th metacarpal	Ulnar nerve	Flexes and adducts hand at wrist	Posterior ulnar recurrent artery
	Ulnar head: olecranon and posterior border of ulna				
Flexor digitorum profundus	Medial and anterior surface of proximal 3/4 of ulna and interosseous membrane	Palmar base of distal phalanges of medial four digits	Medial part: ulnar nerve	Flexes distal phalanges of medial four digits, assists with flexion of hand at wrist	Anterior interosseous artery, muscular branches of ulnar artery
			Lateral part: median nerve		
Flexor digitorum superficialis	Humero-ulnar head: medial epicondyle of humerus and coronoid process of ulna	Bodies of middle phalanges of medial four digits	Median nerve	Flexes middle and proximal phalanges of medial four digits, flexes hand at wrist	Ulnar and radial arteries
	Radial head: superior half of anterior radius				

<i>Palmaris longus</i>	<i>Medial epicondyle of humerus</i>	<i>Distal half of flexor retinaculum and palmar aponeurosis</i>	<i>Median nerve</i>	<i>Flexes hand at wrist and tenses palmar aponeurosis</i>	<i>Posterior ulnar recurrent artery</i>
------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------------------------------------	---------------------	-----------------------------------------------------------	-----------------------------------------

Tabel 6.5. Jenis otot fleksi dan ekstensi di *metacarpophalangeal and thumb joint*<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Dorsal interosseous muscles</i>	<i>Adjacent sides of two metacarpal bones</i>	<i>Base of proximal phalanges, extensor expansion of digits 2–4</i>	<i>Ulnar nerve (deep branch)</i>	<i>Abduct digits from axial line of hand (3rd digit); flex digits at metacarpophalangeal joint and extend interphalangeal joints</i>	<i>Deep palmar arch</i>
<i>Extensor pollicis longus</i>	<i>Posterior surface of middle third of ulna, interosseous membrane</i>	<i>Dorsal base of distal phalanx of thumb</i>	<i>Radial nerve (posterior interosseous)</i>	<i>Extends distal phalanx of thumb at interphalangeal and metacarpophalangeal joints</i>	<i>Posterior interosseous artery</i>
<i>Lumbrical, first and second</i>	<i>Lateral two tendons of flexor digitorum profundus</i>	<i>Lateral sides of extensor expansion of digits 2 and 3</i>	<i>Median nerve (digital branches)</i>	<i>Extend digits at interphalangeal joints, flex metacarpophalangeal joints</i>	<i>Superficial and deep palmar arches</i>
<i>Lumbrical, third and fourth</i>	<i>Medial three tendons of flexor digitorum profundus</i>	<i>Lateral sides of extensor expansion of digits 4 and 5</i>	<i>Ulnar nerve (deep branch)</i>	<i>Extend digits at interphalangeal joints, flex metacarpophalangeal joints</i>	<i>Superficial and deep palmar arches</i>

Tabel 6.6. Jenis otot fleksi dan ekstensi di *carpometacarpal joint of hand*<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Abductor pollicis longus</i>	<i>Posterior surface of ulna, radius, and interosseous membrane</i>	<i>Base of 1st metacarpal</i>	<i>Radial nerve (posterior interosseous)</i>	<i>Abducts and extends thumb at carpometacarpal joint</i>	<i>Posterior interosseous artery</i>
<i>Extensor pollicis brevis</i>	<i>Posterior surface of radius and interosseous membrane</i>	<i>Dorsal base of proximal phalanx of thumb</i>	<i>Radial nerve (posterior interosseous)</i>	<i>Extends proximal phalanx of thumb at carpometacarpal joint</i>	<i>Posterior interosseous artery</i>

Tabel 6.7. Jenis otot fleksi dan ekstensi di *interphalangeal joint of hand*<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Dorsal interosseous muscles</i>	<i>Adjacent sides of two metacarpal bones</i>	<i>Base of proximal phalanges, extensor expansion of digits 2–4</i>	<i>Ulnar nerve (deep branch)</i>	<i>Abduct digits from axial line of hand (3rd digit); flex digits at metacarpophalangeal joint and extend interphalangeal joints</i>	<i>Deep palmar arch</i>
<i>Extensor pollicis longus</i>	<i>Posterior surface of middle third of ulna, interosseous membrane</i>	<i>Dorsal base of distal phalanx of thumb</i>	<i>Radial nerve (posterior interosseous)</i>	<i>Extends distal phalanx of thumb at interphalangeal and metacarpophalangeal</i>	<i>Posterior interosseous artery</i>

				joints	
Lumbrical, first and second	Lateral two tendons of flexor digitorum profundus	Lateral sides of extensor expansion of digits 2 and 3	Median nerve (digital branches)	Extend digits at interphalangeal joints, flex metacarpophalangeal joints	Superficial and deep palmar arches
Lumbrical, third and fourth	Medial three tendons of flexor digitorum profundus	Lateral sides of extensor expansion of digits 4 and 5	Ulnar nerve (deep branch)	Extend digits at interphalangeal joints, flex metacarpophalangeal joints	Superficial and deep palmar arches
Palmar interosseous muscles	Sides of metacarpals	Bases of proximal phalanx and extensor expansion of digits 2, 4, and 5	Ulnar nerve (deep branch)	Adducts digits toward axial line of hand (3rd digit); flexes digits at metacarpophalangeal joint and extends interphalangeal joints	Deep palmar arch
Flexor digitorum profundus	Medial and anterior surface of proximal 3/4 of ulna and interosseous membrane	Palmar base of distal phalanges of medial four digits	Medial part: ulnar nerve	Flexes distal phalanges of medial four digits, assists with flexion of hand at wrist	Anterior interosseous artery, muscular branches of ulnar artery
			Lateral part: median nerve		
Flexor digitorum superficialis	Humero-ulnar head: medial epicondyle of humerus and coronoid process of ulna	Bodies of middle phalanges of medial four digits	Median nerve	Flexes middle and proximal phalanges of medial four digits, flexes hand at wrist	Ulnar and radial arteries
	Radial head: superior half of anterior radius				
Flexor pollicis brevis	Flexor retinaculum and tubercle of trapezium	Lateral side of base of proximal phalanx of thumb	Median nerve (recurrent branch)	Flexes proximal phalanx of thumb	Superficial palmar branch of radial artery
Flexor pollicis longus	Anterior surface of radius and interosseous membrane	Palmar base of distal phalanges of medial four digits distal phalanx of thumb	Median nerve (anterior interosseous)	Flexes phalanges of thumb	Anterior interosseous artery

Tabel 6.8. Jenis otot fleksi dan ekstensi di *trunkus* dan vertebra<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
Longus capitis	Anterior tubercles of transverse processes of C3–C6	Inferior surface of basilar part of occipital bone	Ventral rami of cervical nerves (C1–C4)	Flexes and assists in rotating cervical vertebrae and head	Ascending cervical branch of inferior thyroid artery, ascending pharyngeal artery, muscular branches of vertebral artery
Longus colli	Vertical portion: C5–T3 vertebrae	Vertical portion: into C2–C4 vertebrae	Ventral primary rami of cervical nerves (C2–C8)	Bilaterally: flex and assist in rotating cervical vertebrae and head	Prevertebral branches of ascending pharyngeal artery, muscular branches of ascending cervical and
	Inferior oblique portion: T1–T3 vertebrae	Inferior oblique portion on anterior tubercles of transverse			

		processes of C5–C6 vertebrae			vertebral arteries
	Superior oblique portion: anterior tubercles of transverse processes of C3–C5 vertebrae	Superior oblique portion: tubercle of anterior arch of atlas		Unilaterally: flexes vertebral column laterally	
Erector spinae	Posterior sacrum, iliac crest, sacrospinous ligament, supraspinous ligament, spinous processes of lower lumbar and sacral vertebrae	Iliocostalis: angles of lower ribs, cervical transverse processes	Dorsal rami of each region	Extends and laterally bends vertebral column and head	Cervical portions: occipital, deep cervical, and vertebral arteries
		Longissimus: between tubercles and angles of ribs, transverse processes of thoracic and cervical vertebrae, mastoid process			Thoracic portions: dorsal branches of posterior intercostal, subcostal, and lumbar arteries
		Spinalis: spinous processes of upper thoracic and midcervical vertebrae			Sacral portions: dorsal branches of lateral sacral arteries
Interspinales (cervical, thoracic, lumbar)	Spinous process	Adjacent spinous process	Dorsal rami of spinal nerves	Aid in extension of vertebral column	Cervical portions: occipital, deep cervical, and vertebral arteries
					Thoracic portions: dorsal branches of posterior intercostal arteries
					Lumbar portions: dorsal branches of lumbar arteries
Intertransversarii (cervical, thoracic, lumbar)	Extend between adjacent transverse processes of vertebrae	Extend between adjacent transverse processes of vertebrae	Dorsal rami of spinal nerves	Assist in lateral flexion of vertebral column	Cervical portions: occipital, deep cervical, and vertebral arteries
					Thoracic portions: dorsal branches of posterior intercostal, subcostal, and lumbar arteries
					Lumbar portions: dorsal branches of lateral lumbar arteries
Psoas major	Transverse processes of lumbar vertebrae, sides of bodies of T12–L5 vertebrae, intervening intervertebral discs	Lesser trochanter of femur	Ventral rami of first four lumbar nerves	Acting superiorly with iliacus, flexes hip; acting inferiorly, flexes vertebral column laterally; used to balance trunk in sitting position; acting inferiorly with iliacus, flexes trunk	Lumbar branches of iliolumbar artery

<i>Psoas minor</i>	vertebral margins of T12–L1 vertebrae, corresponding intervertebral disc	Pectineal line, iliopectineal eminence	Ventral rami of first lumbar nerve	<b>Flexes</b> pelvis on vertebral column	Lumbar branch of iliolumbar artery
<i>Quadratus lumborum</i>	Medial half of inferior border of 12th rib, tips of lumbar transverse processes	Iliolumbar ligament, internal lip of iliac crest	Ventral rami of T12 and first four lumbar nerves	<b>Extends</b> and laterally <b>flexes</b> vertebral column, fixes 12th rib during inspiration	Iliolumbar artery
<i>External oblique</i>	External surfaces of ribs 5–12	Linea alba, pubic tubercle, anterior half of iliac crest	Ventral rami of six inferior thoracic nerves	Compresses and supports abdominal viscera, <b>flexes</b> and rotates trunk	Superior and inferior epigastric arteries
<i>Internal oblique</i>	Thoracolumbar fascia, anterior 2/3 of iliac crest, lateral half of inguinal ligament	Inferior borders of ribs 10–12, linea alba, pubis via conjoint tendon	Ventral rami of six inferior thoracic and first lumbar nerves	Compresses and supports abdominal viscera, <b>flexes</b> and rotates trunk	Superior and inferior epigastric and deep circumflex iliac arteries
<i>Rectus abdominis</i>	Pubic symphysis, pubic crest	Xiphoid process, costal cartilages 5–7	Ventral rami of six inferior thoracic nerves	<b>Flexes</b> trunk, compresses abdominal viscera	Superior and inferior epigastric arteries

Tabel 6.9. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi panggul<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Iliacus</i>	Superior 2/3 iliac fossa, ala of sacrum, anterior sacro-iliac ligaments	Lesser trochanter of femur and shaft inferior to it, and to psoas major tendon	Femoral nerve	<b>Flexes</b> hip and stabilizes hip joint; acts with psoas major	Iliac branches of iliolumbar artery
<i>Psoas major</i>	Transverse processes of lumbar vertebrae, sides of bodies of T12–L5 vertebrae, intervening intervertebral discs	Lesser trochanter of femur	Ventral rami of first four lumbar nerves	Acting superiorly with iliacus, <b>flexes</b> hip; acting inferiorly, flexes vertebral column laterally; used to balance trunk in sitting position; acting inferiorly with iliacus, flexes trunk	Lumbar branches of iliolumbar artery
<i>Iliacus</i>	Superior 2/3 of iliac fossa, ala of sacrum, anterior sacro-iliac ligaments	Lesser trochanter of femur and shaft inferior to it, to psoas major tendon	Femoral nerve	<b>Flexes</b> thigh at hips and stabilizes hip joint, acts with psoas major	Iliac branches of iliolumbar artery
<i>Adductor brevis</i>	Body and inferior pubic ramus	Pectineal line and proximal part of linea aspera of femur	Obturator nerve	Adducts thigh at hip, weak hip <b>flexor</b>	Profunda femoris, medial circumflex femoral, and obturator arteries
<i>Biceps femoris</i>	Long head: ischial tuberosity	Lateral side of head of fibula	Long head: sciatic nerve (tibial division) (L5–S2)	Flexes and laterally rotates leg; <b>extends</b> thigh at hip	Perforating branches of profunda femoris, inferior gluteal, and medial circumflex femoral arteries
	Short head: Linea aspera and lateral supracondylar line of femur		Short head: sciatic nerve (common fibular division)		

<i>Pectineus</i>	<i>Superior ramus of pubis</i>	<i>Pectineal line of femur</i>	<i>Femoral nerve and sometimes obturator nerve</i>	<i>Adducts and flexes thigh at hip</i>	<i>Medial circumflex femoral artery, obturator artery</i>
<i>Gracilis</i>	<i>Body and inferior ramus of pubis</i>	<i>Superior part of medial surface of tibia</i>	<i>Obturator nerve</i>	<i>Adducts thigh, flexes and medially rotates leg</i>	<i>Profunda femoris artery, medial circumflex femoral artery</i>
<i>Adductor magnus</i>	<i>Inferior pubic ramus, ramus of ischium Hamstring part: sciatic nerve (tibial division)</i>	<i>Gluteal tuberosity, linea aspera, medial supracondylar line</i>	<i>Adductor part: obturator nerve</i>	<i>Adductor part: adducts and flexes thigh</i>	<i>Femoral, profunda femoris, and obturator arteries</i>
		<i>Hamstring part: adductor tubercle of femur</i>	<i>Hamstring part: sciatic nerve (tibial division)</i>	<i>Hamstring part: extends thigh</i>	
<i>Rectus femoris (quadriceps)</i>	<i>Anterior inferior iliac spine and ilium superior to acetabulum</i>	<i>Base of patella and to tibial tuberosity via patellar ligament</i>	<i>Femoral nerve</i>	<i>Extends leg at knee joint and flexes thigh at hip joint</i>	<i>Profunda femoris and lateral circumflex femoral arteries</i>
<i>Semimembranosus</i>	<i>Ischial tuberosity</i>	<i>Posterior part of medial condyle of tibia</i>	<i>Sciatic nerve (tibial division)</i>	<i>Flexes leg, extends thigh</i>	<i>Perforating branch of profunda femoris and medial circumflex femoral arteries</i>
<i>Semitendinosus</i>	<i>Ischial tuberosity</i>	<i>Superior part of medial surface of tibia</i>	<i>Sciatic nerve (tibial division)</i>	<i>Flexes leg, extends thigh</i>	<i>Perforating branch of profunda femoris and medial circumflex femoral arteries</i>
<i>Gluteus maximus</i>	<i>Ilium posterior to posterior gluteal line, dorsal surface of sacrum and coccyx, sacrotuberous ligament</i>	<i>Most fibers end in iliotibial tract that inserts into lateral condyle of tibia; some fibers insert into gluteal tuberosity of femur</i>	<i>Inferior gluteal nerve</i>	<i>Extends flexed thigh, assists in lateral rotation, and abducts thigh</i>	<i>Inferior gluteal arteries mainly, and superior gluteal arteries occasionally</i>

Tabel 9.10. Jenis otot fleksi dan ekstensi di sendi lutut<sup>(1)</sup>

<i>MUSCLE</i>	<i>PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)</i>	<i>DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)</i>	<i>INNERVATION</i>	<i>MAIN ACTIONS</i>	<i>BLOOD SUPPLY</i>
<i>Gastrocnemius</i>	<i>Lateral head: lateral aspect of lateral condyle of femur</i>	<i>Posterior aspect of calcaneus via calcaneal tendon</i>	<i>Tibial nerve</i>	<i>Plantarflexes foot at ankle joint, assists in flexion of knee joint, raises heel during walking</i>	<i>Popliteal and posterior tibial arteries</i>
	<i>Medial head: popliteal surface above medial condyle of femur</i>				
<i>Popliteus</i>	<i>Lateral aspect of lateral condyle of femur, lateral meniscus</i>	<i>Posterior tibia superior to soleal line</i>	<i>Tibial nerve (L4-S1)</i>	<i>Weakly flexes knee and unlocks it by rotating femur on fixed tibia</i>	<i>Inferior medial and lateral genicular arteries</i>
<i>Rectus femoris</i>	<i>Anterior inferior</i>	<i>Base of patella and</i>	<i>Femoral nerve</i>	<i>Extends leg at knee</i>	<i>Profunda</i>

( <i>quadriceps</i> )	<i>iliac spine and ilium superior to acetabulum</i>	<i>to tibial tuberosity via patellar ligament</i>		<i>joint and flexes thigh at hip joint</i>	<i>femoris and lateral circumflex femoral arteries</i>
<i>Sartorius</i>	<i>Anterior superior iliac spine and superior part of notch below it</i>	<i>Superior part of medial surface of tibia</i>	<i>Femoral nerve</i>	<i>Abducts, laterally rotates, and flexes thigh; flexes knee joint</i>	<i>Femoral artery</i>
<i>Tensor fasciae latae</i>	<i>Anterior superior iliac spine and anterior part of iliac crest</i>	<i>Iliotibial tract that attaches to lateral condyle of tibia</i>	<i>Superior gluteal nerve</i>	<i>Abducts, medially rotates, and flexes thigh at hip; helps to keep knee extended</i>	<i>Ascending branch of lateral circumflex femoral artery</i>
<i>Vastus intermedius (quadriceps)</i>	<i>Anterior and lateral surfaces of body of femur</i>	<i>Base of patella and to tibial tuberosity via patellar ligament</i>	<i>Femoral nerve</i>	<i>Extends leg at knee joint</i>	<i>Lateral circumflex femoral and profunda femoris arteries</i>
<i>Vastus lateralis (quadriceps)</i>	<i>Greater trochanter, lateral lip of linea aspera of femur</i>	<i>Base of patella and to tibial tuberosity via patellar ligament</i>	<i>Femoral nerve</i>	<i>Extends leg at knee joint</i>	<i>Lateral circumflex femoral and profunda femoris arteries</i>
<i>Vastus medialis (quadriceps)</i>	<i>Intertrochanteric line, medial lip of linea aspera of femur</i>	<i>Base of patella and to tibial tuberosity via patellar ligament</i>	<i>Femoral nerve</i>	<i>Extends leg at knee joint</i>	<i>Femoral and profunda femoris arteries</i>
<i>Plantaris</i>	<i>Inferior end of lateral supracondylar line of femur and oblique popliteal ligament</i>	<i>Posterior aspect of calcaneus via calcaneal tendon</i>	<i>Tibial nerve</i>	<i>Weakly assists gastrocnemius</i>	<i>Popliteal artery</i>

Tabel 9.11. Jenis otot fleksi dan ekstensi di ankle joint<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Fibularis peroneus tertius</i>	<i>Distal third of anterior surface of fibula and interosseous membrane</i>	<i>Dorsum of base of 5th metatarsal</i>	<i>Deep fibular nerve</i>	<i>Dorsiflexes foot at ankle and aids in eversion of foot</i>	<i>Anterior tibial artery</i>
<i>Fibularis peroneus longus</i>	<i>head and proximal 2/3 of lateral fibula</i>	<i>Plantar base of 1st metatarsal and medial cuneiform</i>	<i>Superficial fibular nerve</i>	<i>Everts foot and weakly plantarflexes foot at ankle</i>	<i>Anterior tibial and fibular arteries</i>
<i>Fibularis peroneus brevis</i>	<i>Distal 2/3 of lateral surface of fibula</i>	<i>Dorsal surface of tuberosity on lateral side of 5th metatarsal</i>	<i>Superficial fibular nerve</i>	<i>Everts foot and weakly plantarflexes foot at ankle</i>	<i>Anterior tibial and fibular arteries</i>
<i>Extensor hallucis longus</i>	<i>Middle part of anterior surface of fibula and interosseous membrane</i>	<i>Dorsal aspect of base of distal phalanx of great toe</i>	<i>Deep fibular nerve</i>	<i>Extends great toe, dorsiflexes foot at ankle</i>	<i>Anterior tibial artery</i>
<i>Extensor digitorum longus</i>	<i>Lateral condyle of tibia, proximal 3/4 of anterior surface of interosseous membrane and fibula</i>	<i>Middle and distal phalanges of lateral four digits</i>	<i>Deep fibular nerve</i>	<i>Extends lateral four digits and dorsiflexes foot at ankle</i>	<i>Anterior tibial artery</i>
<i>Flexor digitorum longus</i>	<i>Medial part of posterior tibia inferior to soleal line</i>	<i>Plantar bases of distal phalanges of lateral four digits</i>	<i>Tibial nerve</i>	<i>Flexes lateral four digits and plantarflexes foot at ankle; supports longitudinal arches</i>	<i>Posterior tibial artery</i>

				of foot	
Gastrocnemius	Lateral head: lateral aspect of lateral condyle of femur	Posterior aspect of calcaneus via calcaneal tendon	Tibial nerve	Plantarflexes foot at ankle joint, assists in flexion of knee joint, raises heel during walking	Popliteal and posterior tibial arteries
	Medial head: popliteal surface above medial condyle of femur				
Flexor hallucis longus	Distal 2/3 of posterior fibula and interosseous membrane	Base of distal phalanx of great toe (hallux)	Tibial nerve	Flexes all joints of great toe, weakly plantarflexes foot at ankle	Fibular artery
Soleus	Posterior aspect of head of fibula, proximal 1/4 of posterior surface of fibula, soleal line of tibia	Posterior aspect of calcaneus via calcaneal tendon	Tibial nerve	Plantarflexes foot at ankle, stabilizes leg over foot	Popliteal, posterior tibial, and fibular arteries
Tibialis posterior	Posterior tibia below soleal line, interosseous membrane, proximal half of posterior fibula	Tuberosity of navicular bone, all cuneiforms, cuboid, and bases of 2nd through 4th metatarsals	Tibial nerve	Plantarflexes foot at ankle and inverts foot	Fibular artery
Tibialis anterior	Lateral condyle, proximal half of lateral tibia, interosseous membrane	Medial plantar surfaces of medial cuneiform and base of 1st metatarsal	Deep fibular nerve	Dorsiflexes foot at ankle and inverts foot	Anterior tibial artery
Plantaris	Inferior end of lateral supracondylar line of femur and oblique popliteal ligament	Posterior aspect of calcaneus via calcaneal tendon	Tibial nerve	Weakly assists gastrocnemius	Popliteal artery

Tabel 9.12. Jenis otot fleksi dan ekstensi di metatarsophalangeal joint<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
Abductor digiti minimi	Medial and lateral tubercles of tuberosity of calcaneus, plantar aponeurosis, and intermuscular septum	Lateral side of base of proximal phalanx of 5th digit	Lateral plantar nerve	Abducts and flexes 5th digit	Medial-lateral plantar artery, plantar metatarsal and plantar digital arteries to 5th digit
Abductor hallucis	Medial tubercle of tuberosity of calcaneus, flexor retinaculum, and plantar aponeurosis	Medial side of base of proximal phalanx of 1st digit	Medial plantar nerve	Abducts and flexes 1st digit	Medial plantar and 1st plantar metatarsal arteries
Dorsal interossei (four muscles)	Adjacent sides of 1st through 5th metatarsals	1st: medial side of proximal phalanx of 2nd digit 2nd through 4th: lateral sides of digits 2-4	Lateral plantar nerve	Abduct 2nd through 4th toes, flex metatarsophalangeal joints, and extend phalanges	Arcuate artery, dorsal and plantar metatarsal arteries
Extensor digitorum	Superolateral	First tendon into	Deep fibular nerve	Aids the extensor	Dorsalis pedis,

<i>brevis and extensor hallucis brevis</i>	<i>surface of calcaneus, lateral talocalcaneal ligament, cruciate crural ligament</i>	<i>dorsal surface of base of proximal phalanx of great toe; other 3 tendons into lateral sides of tendons of extensor digitorum longus to digits 2-4</i>		<i>digitorum longus in extending of 4 medial digits at the metatarsophalangeal and interphalangeal joints</i>	<i>lateral tarsal, arcuate, and fibular arteries</i>
<i>Flexor digiti minimi brevis</i>	<i>Base of 5th metatarsal</i>	<i>Lateral base of proximal phalanx of 5th digit</i>	<i>Superficial branch of lateral plantar nerve</i>	<i>Flexes proximal phalanx of 5th digit</i>	<i>Lateral plantar artery, plantar digital artery to 5th digit, arcuate artery</i>
<i>Flexor digitorum brevis</i>	<i>Medial tubercle of tuberosity of calcaneus, plantar aponeurosis, and intermuscular septum</i>	<i>Both sides of middle phalanges of lateral four digits</i>	<i>Medial plantar nerve</i>	<i>Flexes 2nd through 5th digits</i>	<i>Medial and lateral plantar arteries and plantar arch, plantar metatarsal and plantar digital arteries</i>
<i>Flexor hallucis brevis</i>	<i>Plantar surfaces of cuboid and lateral cuneiform</i>	<i>Both sides of base of proximal phalanx of 1st digit</i>	<i>Medial plantar nerve</i>	<i>Flexes proximal phalanx of 1st digit</i>	<i>Medial plantar artery, first plantar metatarsal artery</i>
<i>Lumbricals</i>	<i>Tendons of flexor digitorum longus</i>	<i>Medial side of dorsal digital expansions of lateral 4 digits</i>	<i>Medial one: medial plantar nerve Lateral three: lateral plantar nerve</i>	<i>Flexes proximal phalanges at MTP joint, extends phalanges at PIP and DIP joints</i>	<i>Lateral plantar artery and plantar metatarsal arteries</i>
<i>Plantar interossei (three muscles)</i>	<i>Bases and medial sides of 3rd through 5th metatarsals</i>	<i>Medial sides of bases of proximal phalanges of 3rd through 5th digits</i>	<i>Lateral plantar nerve</i>	<i>Adduct digits (2-4) and flex metatarsophalangeal joint and extend phalanges</i>	<i>Lateral plantar artery and plantar arch, plantar metatarsal and plantar digital arteries</i>
<i>Extensor digitorum longus</i>	<i>Lateral condyle of tibia, proximal 3/4 of anterior surface of interosseous membrane and fibula</i>	<i>Middle and distal phalanges of lateral four digits</i>	<i>Deep fibular nerve</i>	<i>Extends lateral four digits and dorsiflexes foot at ankle</i>	<i>Anterior tibial artery</i>
<i>Flexor digitorum longus</i>	<i>Medial part of posterior tibia inferior to soleal line</i>	<i>Plantar bases of distal phalanges of lateral four digits</i>	<i>Tibial nerve</i>	<i>Flexes lateral four digits and plantarflexes foot at ankle; supports longitudinal arches of foot</i>	<i>Posterior tibial artery</i>
<i>Flexor hallucis brevis</i>	<i>Plantar surfaces of cuboid and lateral cuneiform</i>	<i>Both sides of base of proximal phalanx of 1st digit</i>	<i>Medial plantar nerve</i>	<i>Flexes proximal phalanx of 1st digit</i>	<i>Medial plantar artery, first plantar metatarsal artery</i>
<i>Flexor hallucis longus</i>	<i>Distal 2/3 of posterior fibula and interosseous membrane</i>	<i>Base of distal phalanx of great toe (hallux)</i>	<i>Tibial nerve</i>	<i>Flexes all joints of great toe, weakly plantarflexes foot at ankle</i>	<i>Fibular artery</i>
<i>Quadratus plantae</i>	<i>Medial and lateral sides of plantar surface of calcaneus</i>	<i>Posterolateral edge of flexor digitorum longus tendon</i>	<i>Lateral plantar nerve</i>	<i>Corrects for oblique pull of flexor digitorum longus tendon, thus assists in flexion of toes</i>	<i>Medial and lateral plantar arteries and deep plantar arterial arch</i>

Tabel 9.13. Jenis otot fleksi dan ekstensi di *interphalangeal joint of foot*<sup>(1)</sup>

MUSCLE	PROXIMAL ATTACHMENT (ORIGIN)	DISTAL ATTACHMENT (INSERTION)	INNERVATION	MAIN ACTIONS	BLOOD SUPPLY
<i>Extensor digitorum brevis</i> and <i>extensor hallucis brevis</i>	Superolateral surface of calcaneus, lateral talocalcaneal ligament, cruciate crural ligament	First tendon into dorsal surface of base of proximal phalanx of great toe; other 3 tendons into lateral sides of tendons of <i>extensor digitorum longus</i> to digits 2-4	Deep fibular nerve	Aids the <b>extensor digitorum longus</b> in <b>extending</b> of 4 medial digits at the metatarsophalangeal and interphalangeal joints	Dorsalis pedis, lateral tarsal, arcuate, and fibular arteries
<i>Extensor digitorum longus</i>	Lateral condyle of tibia, proximal 3/4 of anterior surface of interosseous membrane and fibula	Middle and distal phalanges of lateral four digits	Deep fibular nerve	<b>Extends</b> lateral four digits and dorsiflexes foot at ankle	Anterior tibial artery
<i>Flexor hallucis brevis</i>	Plantar surfaces of cuboid and lateral cuneiform	Both sides of base of proximal phalanx of 1st digit	Medial plantar nerve	<b>Flexes</b> proximal phalanx of 1st digit	Medial plantar artery, first plantar metatarsal artery
<i>Flexor hallucis longus</i>	Distal 2/3 of posterior fibula and interosseous membrane	Base of distal phalanx of great toe (hallux)	Tibial nerve	<b>Flexes</b> all joints of great toe, weakly plantarflexes foot at ankle	Fibular artery
<i>Flexor digitorum brevis</i>	Medial tubercle of tuberosity of calcaneus, plantar aponeurosis, and intermuscular septum	Both sides of middle phalanges of lateral four digits	Medial plantar nerve	<b>Flexes</b> 2nd through 5th digits	Medial and lateral plantar arteries and plantar arch, plantar metatarsal and plantar digital arteries
<i>Flexor digitorum longus</i>	Medial part of posterior tibia inferior to soleal line	Plantar bases of distal phalanges of lateral four digits	Tibial nerve	<b>Flexes</b> lateral four digits and plantarflexes foot at ankle; supports longitudinal arches of foot	Posterior tibial artery
<i>Extensor hallucis longus</i>	Middle part of anterior surface of fibula and interosseous membrane	Dorsal aspect of base of distal phalanx of great toe	Deep fibular nerve	<b>Extends</b> great toe, dorsiflexes foot at ankle	Anterior tibial artery
<i>Quadratus plantae</i>	Medial and lateral sides of plantar surface of calcaneus	Posterolateral edge of <i>flexor digitorum longus</i> tendon	Lateral plantar nerve	Corrects for oblique pull of <b>flexor digitorum longus</b> tendon, thus assists in <b>flexion</b> of toes	Medial and lateral plantar arteries and deep plantar arterial arch
Lumbricals	Tendons of <i>flexor digitorum longus</i>	Medial side of dorsal digital expansions of lateral 4 digits	Medial one: medial plantar nerve Lateral three: lateral plantar nerve	<b>Flexes</b> proximal phalanges at MTP joint, <b>extends</b> phalanges at PIP and DIP joints	Lateral plantar artery and plantar metatarsal arteries

## VI.2. Otot Abduksi dan Adduksi dalam Persendian

### 1. Shoulder (Glenohumeral) Joint

- Abduksi Vertikal<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Deltoid pars medial</b>	Sepertiga lateral anterior klavikula, acromion lateral, tepi inferior spina scapula.	Tuberositas deltoide humeri.	N. Axillaris	Abduksi lengan atas melampaui 15 derajat.	A Sirkumfleksa humeri posterior.
<b>Supraspinatus</b>	Fossa supraspinatus scapula dan fascia profunda.	Permukaan superior tuberculum majus humeri	N. Suprascapularis	Memulai abduksi lengan atas.	A sirkumfleksa scapula.

- Adduksi Vertikal<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Pektoralis Major pars sternocostal</b>	Setengah medial clavicula, sternum hingga Iga 7, kartilago Iga sejati, aponeurosis muskuli oblikui eksterni abdominis.	Bibir lateral sulkus intertubercularis humeri.	N. pektoralis lateralis dan medialis	Adduksi vertical	Rami pektoralis arteri thoracoacromialis, Rami perforans arteri thoracici interni.
<b>Latissimus Dorsi</b>	Prosesus spinisus	Sulcus intertubercularis	N. thoracodorsalis	Ekstensi, adduksi,	Arteri Thoracodorsalis

	vertebra T7- L5, fascia thoraco lumbalis, krista iliaka, tiga buah Iga terakhir.				dan rotasi medial humerus pada bahu
<b>Coracobrachialis</b>	Ujung processus choracodeus scapula	Sepertiga tengah permukaan medial humeri	Nervus musculo kutaneus	Fleksi dan adduksi lengan atas pada bahu	Rr. Muscularis artheria brachialis

- Abduksi Horizontal<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Deltoid pars posterior</b>	Sepertiga lateral anterior klavikula, acromion lateral, tepi inferior spina scapula.	Tuberositas deltoid humeri.	N. Axillaris	Abduksi horizontal	A Sircumfleksa humeri posterior.

- Adduksi horizontal<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Pektoralis</b>	Setengah	Bibir lateral	N pektoralis	Adduksi	Rami pektoralis

<b>Major pars clavicularis</b>	medial clavícula, sternum hingga Iga 7, kartilago Iga sejati, aponeurosis muskuli oblikui eksterni abdominis.	sulkus intertubercularis humeri.	lateralis dan medialis	horizontal	arteri thoracoacromialis, Rami perforans arteri thoracici interni.
<b>Deltoid pars anterior</b>	Sepertiga lateral anterior klavikula, acromion lateral, tepi inferior spina scapula.	Tuberositas deltoid humeri.	N. Axillaris	Adduksi horizontal	A Sirkumfleksi humeri posterior.

## 2. Wrist Joint

- Abduksi atau deviasi radial<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Ekstensor Carpi Radialis Longus</b>	Sepertiga distal kista supracondilaris lateralis humeri	Dorsal basis ossis metacarpalis dua dan metacarpalis 3	N. Radialis	Ekstensi dan abduksi tangan pada pergelangan tangan	Arteri Radialis, A. Recurent radialis
<b>Ekstensor Carpi Radialis Brevis</b>	Epicondylus lateralis humeri	Dorsal basis ossis metacarpalis 3 dan metacarpalis 2	N. radialis (Ramus Profundus)	Ekstensi dan abduksi tangan pada pergelangan tangan.	Arteri radialis, A. Recurent radialis
<b>Flexor Carpi</b>	Epicondylus	Basis ossis	N. Medianus	Fleksi dan	Arteri radialis

<b>Radialis</b>	medialis humeri	metecarpalis 2	abduksi tangan pada pergelangan tangan.
-----------------	-----------------	----------------	-----------------------------------------

- Adduksi atau deviasi ulna<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Ekstensor Carpi Ulnaris</b>	Epicondilus lateralis humeri dan tepi posterior ulna	Dorsal basis ossis metacarpalis 5	Nervus radialis	Ekstensi dan adduksi tangan pada pergelangan tangan	Arteri interossea posterior
<b>Flexor Carpi Ulnaris</b>	Caput humerale : epicondilus medialis humeri; caput ulnari : olecranon dan tepi posterior ulna	Os pisiforme, hamulus ossis hamati, basis ossis metacarpalis 5	Nervus ulnaris	Fleksi dan adduksi tangan pada pergelangan tangan	Arteri recurent ulnaris posterior.

### 3. Finger Joint

- Abduksi jari-jari<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Interossea</b>	Sisi	Basis	N. ulnaris	Abduksi jari dari	Arcus palmaris

	bersebelahan 2 ossa metacarpal	phalanges proximales, perpanjangan ekstensor jari2-4		garis aksis tangan; profundus fleksi jari pada articulatio metacarpophalangea dan ekstensi artikulatio interphalangea
<b>Abduktor digiti minimi</b>	Os pisiforme dan tendo musculi flexoris carpi ulnaris	Sisi medial basis phalanx proximal jari kelingking	N. ulnaris	Abduksi jari kelingking R. palmaris profundus arteria ulnaris

- Adduksi jari-jari<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Palmaris interossei</b>	Sisi-sisi metacarpalia 2, 4, dan 5	ossa Basis phalanx dan perpanjangan ekstensor jari 2, 4, dan 5	N. ulnaris (Ramus profundus)	Adduksi jari- jari ke arah garis aksis tangan (jari ke-3 atau tengah)	Alcus palmaris profundus.

#### 4. Thumb Joint

- Abduksi ibu jari<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------	------------	-------------------------------

<b>Abduktor Pollicis Brevis</b>	Retinaculum fleksorum, tuberculum ossis scaphoidei dan os trapezium	Sisi lateral basis palanx prosimal ibu jari	N. Medianus	Abduksi ibu jari	Ramus palmaris superficialis arteri radialis
<b>Abduktor Pollicis Longus</b>	Permukaan posterior os ulna, radius, dan membrana interossea	Basis ossis metacarpalis 1	Nervus radialis	Abduksi dan ekstensi ibu jari pada articulatio carpometacarpea	Arteri interossea posterior

- Adduksi ibu jari<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Adduktor Pollicis</b>	Caput oblikum : basis ossis metacarpalis 2 dan 3, dan os capitatum, serta tulang-tulang didekatnya. Caput tranfersum : permukaan anterior ossis metacarpalis 3	Sisi medial basis palanx ibu jari	N. ulnaris	Adduksi ibu jari	Alcus palmaris profundus

## 5. Hip Joint

- Abduksi<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Inervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Tensor Fascia Lata</b>	SIAS dan bagian anterior crista iliaca	Tractus iliotibialis yang melekat ke kondilus lateralis tibia	N. gluteus superior	Abduksi, rotasi media dan fleksi paha pada pangkal paha	Arteri sircumfleksa femoris lateralis ramus asenden
<b>Gluteus medius</b>	Permukaan lateral ilium diantara linea glutea anterior dan posterior	Permukaan lateral Trochanter mayor femoris	N. Gluteus superior	Abduksi dan rotasi media paha pada pangkal pah	Arteri glutea superior
<b>Gluteus minimus</b>	Permukaan lateral ilium diantara linea glutea anterior dan posterior	Permukaan anterior trochantermayor femoris	N. Gluteus superior	Abduksi dan rotasi medial paha pada pangkal paha	Pembuluh utama dan ramus profundus dari arteri glutea superior

- Adduksi<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Inervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Gracilis</b>	Corpus ossis pubis dan ramus inferior osis pubis	Bagian superior permukaan medila tibia	N. octuratorius	Adduksi paha, fleksi dan rotasi medial tungkai bawah	Arteri profunda femoris dan arteri sircumfleksa femoris radialis

<b>Adduktor Longus</b>	Corpus ossis pubis diinferior crista pubica	Sepertiga medial linea aspera femoris	N. obturatorius	Adduksi paha pada pangkal paha	Arteri profunda femoris dan arteri sircumfleksa femoris radialis
<b>Adduktor Brevis</b>	Corpus ossis pubis dan ramus inferior ossis pubis	Linea pektinea dan bagian proksimal linea aspera femoris	N. obturatorius	Abduksi paha pada pangkal paha, fleksi sendi panggul secara lemah	Arteri profunda femoris, arteri sircumfleksa femoris medialis dan arteri obturatoria
<b>Adduktor magnus</b>	Ramus inferior ossis pubis, ramus ossis ischii	Tubrositas glutea, linea aspera, linea supracondilaris medialis	Nervus obturatorius	Adduksi dan fleksi paha	Arteri femoralis, arteri profunda femoris, dan arteri obturatoria.
<b>Pectineus</b>	Ramus superior ossis pubis	Linea pektinea femoris	Nervus femoris dan kadang-kadang nervus obturatorius	Adduksi dan fleksi paha pada pangkal paha	Arteri sircumfleksa femoris medialis arteri obturatoria

## 6. Toes Joint

- Abduksi<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Abduktor Hallucis</b>	Processus medialis tuberis calcanei, retinaculum 1 fleksorum, dan aponeorosis plantaris	Sisi medial basis palang jari 1	Nervus plantaris medialis	Abduksi dan fleksi jari 1	Arteri plantaris medialis, dan arteri metatarsalis 1

<b>Abduktor digiti minimi</b>	Processus medialis tuberis calcanei, septum intermuskularis, dan aponeorosis plantaris	Sisi lateral basis palang proksimal jari 5	Nervus plantaris lateralis	Abduksi dan fleksi jari 5	Arteri plantaris lateralis, dan arteri metatarsalis plantaris, dan arteri digitalis plantaris ke jari 5
<b>Dorsal interossea</b>	Sisi-sisi bersebelahan ossa metatarsal 1-5	1 : sisi medial palanx proximal jari 2 2 -4 : sisi lateral jari 2-4	N. plantaris lateralis	Abduksi jari-jari kaki 2-4, fleksi articukatio metatarsopalangea, dan ekstensi palanges	Arteri arcuata, arteri metatarsalis dorsalis dan plantaris

- Adduksi<sup>(1,,2,3)</sup>

Otot	Perlekatan proksimal (Origo)	Perlekatan distal (Inersio)	Persarafan (Innervasi)	Aksi utama	Pendarahan (Vaskularisasi)
<b>Adduktor Hallucis</b>	Caput oblicum : basis ossis metatarsal 2-4 Caput transversum : ligamen-ligamen pada articulatio metatarsopalangea jari 3-5	Tendo ke-2 caput berinsertio pada sisi lateral basis palanx proksimal jari 1	Ramus profundus nervi plantaris radialis	Adduksi jari 1, mempertahankan arcus pedis tranfersal	Arteri plantaris medialis, dan arteri plantaris, a. Metatarsalis plantaris
<b>Plantar interossea</b>	Sisi medial dan basis ossis metatarsalis 3-5	Sisi medial basis palang proksimal jari	Nervus plantaris lateralis	Adduksi jari 3-4 dan fleksi articulatio	A plantaris lateralis, arteri plantaris, a.

3-5

metatarso  
palangea dan  
ekstensi  
phalanges

Metatarsalis  
plantaris, dan a.  
Digitalis plantaris

### VI.3. Otot-Otot Eksorotasi dan Endorotasi dalam Persendian

Tabel 9.14. Otot-otot eksorotasi dan endorotasi dalam persendian<sup>(1,,2)</sup>

JOINT	MOVEMENT	MUSCLE	ORIGO	INSERTIO	INNERVATION	VASKULARISASI
Neck,	Assists in rotating cervical vertebrae and head	Longus capitis	Anterior tubercles of transverse processes of C3–C6	Inferior surface of basilar part of occipital bone	Ventral rami of cervical nerves (C1–C4)	Ascending cervical branch of inferior thyroid artery, ascending pharyngeal artery, muscular branches of vertebral artery
	<i>Bilaterally:</i> assist in rotating cervical vertebrae and	Longus colli	<i>Vertical portion:</i> C5–T3 vertebrae	<i>Vertical portion:</i> into C2–C4 vertebrae	Ventral primary rami of cervical nerves (C2–C8)	Prevertebral branches of ascending pharyngeal artery, muscular branches

	head		<i>Inferior oblique portion: T1–T3 vertebrae</i>	<i>Inferior oblique portion on anterior tubercles of transverse processes of C5–C6 vertebrae</i>		of ascending cervical and vertebral arteries
			<i>Superior oblique portion: anterior tubercles of transverse</i>	<i>Superior oblique portion: tubercle of anterior arch of atlas</i>		
Cervical	Rotates atlas to turn face to same side	Obliquus capitis inferior	Spine of axis	Transverse process of atlas	Suboccipital nerve	Vertebral artery, descending branch of occipital artery
	Rotates head to same side	Rectus capitis posterior major	Spine of axis	Inferior nuchal line	Suboccipital nerve	Vertebral artery, descending branch of occipital artery
	Rotates head and neck to opposite side	Semispinalis	Transverse processes of C4–T12	Spinous processes of cervical and thoracic regions	Dorsal rami of spinal nerves	<i>Cervical portions: occipital, deep cervical, and vertebral artery</i> <i>Thoracic portions: dorsal branches of posterior intercostal arteries</i>
<b>JOINT</b>	<b>MOVEMENT</b>	<b>MUSCLE</b>	<b>ORIGO</b>	<b>INSERTIO</b>	<b>INNERVATION</b>	<b>VASKULARISASI</b>
Neck, Cervical	Unilaterally: rotates face to same side	Splenius capitis	Nuchal ligament, spinous process of C7–T3	Mastoid process of temporal bone, lateral third of superior nuchal line	Dorsal rami of middle cervical nerves	Descending branch of occipital artery, deep cervical artery
	Unilaterally: laterally bends (flexes) and rotates neck toward same side	Splenius cervicis	Spinous process of T3–T6	Transverse processes (C1–C3)	Dorsal rami of lower cervical nerves	Descending branch of occipital artery, deep cervical artery

Trunk	Rotates trunk	External oblique	External surfaces of ribs 5–12	Linea alba, pubic tubercle, anterior half of iliac crest	Ventral rami of six inferior thoracic nerves	Superior and inferior epigastric arteries
	Rotates trunk	Internal oblique	Thoracolumbar fascia, anterior 2/3 of iliac crest, lateral half of inguinal ligament	Inferior borders of ribs 10–12, linea alba, pubis via conjoint tendon	Ventral rami of six inferior thoracic and first lumbar nerves	Superior and inferior epigastric and deep circumflex iliac arteries
Shoulder	Medial Rotation	Subscapularis	Subscapular fossa	Lesser tubercle of humerus	Upper and lower subscapular nerves	Subscapular artery, lateral thoracic artery
		Teres Major	Posterior surface of inferior angle of scapula	Medial lip of intertubercular sulcus of humerus	Brachial Plexus	Circumflex scapular artery

JOINT	MOVEMENT	MUSCLE	ORIGO	INSERTIO	INNERVATION	VASKULARISASI
Shoulder	Medial Rotation	Latissimus Dorsi	Spinous processes of T7–L5, thoracolumbar fascia, iliac crest, and last three ribs	Humerus (intertubercular sulcus)	Thoracodorsal n.	Thoracodorsal artery, dorsal perforating branches of 9th, 10th, and 11th posterior intercostal, subcostal, and first three lumbar arteries

		Anterior Deltoid	Lateral third of anterior clavicle, lateral acromion, inferior edge of spine of scapula	Deltoid tuberosity of humerus	Axillary n.	Posterior circumflex humeral artery, deltoid branch of thoraco-acromial artery
	Lateral Rotation	Infraspinatus	Infraspinatus fossa of scapula and deep fascia	Middle facet of greater tubercle of humerus	Suprascapular n.	Suprascapular artery
		Teres Minor	Upper 2/3 of posterior surface of lateral border of scapula	Inferior facet of greater tubercle of humerus	Axillary n.	Circumflex scapular artery
		Posterior Deltoid	Lateral third of anterior clavicle, lateral acromion, inferior edge of spine of scapula	Deltoid tuberosity of humerus	Axillary n.	Posterior circumflex humeral artery, deltoid branch of thoraco-acromial artery
Elbow	Supination	Biceps Brachii	<i>Long head:</i> supraglenoid tubercle of scapula  <i>Short head:</i> tip of coracoid process of scapula	Radial tuberosity, fascia of forearm via bicipital aponeurosis	Musculocutaneous n.	Muscular branches of brachial artery

JOINT	MOVEMENT	MUSCLE	ORIGO	INSERTIO	INNERVATION	VASKULARISASI
Elbow	Supination	Brachialis	Distal half of anterior surface of humerus	Coronoid process and tuberosity of ulna	Posterior Interosseus n.	Radial recurrent artery, muscular branches of brachial artery
	Pronation	Pronator Quadratus	Distal fourth of anterior ulna	Distal fourth of anterior radius	Anterior Interosseus n.	Anterior interosseous artery

		Pronator Teres	Two heads: medial epicondyle of humerus and coronoid process of ulna	Midway along lateral surface of radius	Median n.	Anterior ulnar recurrent artery
Thumb	Abduction/ Rotation	Abductor Pollicis Brevis	Flexor retinaculum , tubercles of scaphoid and trapezium	Lateral side of base of proximal phalanx of thumb	Median n.	Superficial palmar branch of radial artery
	Adduction/ Rotation	Adductor pollicis	<i>Oblique head:</i> bases of 2nd and 3rd metacarpals and capitate and adjacent bones <i>Transverse head:</i> anterior surface of 3rd metacarpal	Medial side of base of proximal phalanx of thumb	Ulnar n.	Deep palmar arch
Hip	Medial Rotation	Iliacus	Superior 2/3 of iliac fossa, ala of sacrum, anterior sacro-iliac ligaments	Lesser trochanter of femur and shaft inferior to it, to psoas major tendon	Femoral n.	Iliac branches of iliolumbar artery

JOINT	MOVEMENT	MUSCLE	ORIGO	INSERTIO	INNERVATION	VASKULARISASI
Hip	Medial Rotation	Gluteus Medius	Lateral surface of ilium between anterior and posterior gluteal lines	Lateral surface of greater trochanter of femur	Superior gluteal n.	Superior gluteal artery

		Gluteus Minimus	Lateral surface of ilium between anterior and inferior gluteal lines	Anterior surface of greater trochanter of femur	Superior gluteal n.	Main trunk and deep branch of superior gluteal artery
		Tensor Fasciae Latae	Anterior superior iliac, spine and anterior part of iliac crest	Iliotibial tract that attaches to lateral condyle of tibia	Superior gluteal n.	Ascending branch of lateral circumflex femoral artery
	Lateral Rotation	Superior Gemelli	Outer surface of ischial spine	Medial surface of greater trochanter of femur	Lumbosacral Plexus	Inferior gluteal and internal pudendal arteries
		Inferior Gemelli	Ischial tuberosity	Medial surface of greater trochanter of femur	Lumbosacral Plexus	Medial circumflex femoral artery
		Quadratus Femoris	Lateral margin of ischial tuberosity	Quadratus tubercle on intertrochanteric crest of femur	Lumbosacral Plexus	Medial circumflex femoral artery
		Piriformis	Anterior surface of sacral segments 2-4, sacrotuberous ligament	Superior border of greater trochanter of femur	Lumbosacral Plexus	Superior and inferior gluteal arteries, internal pudendal artery
		Obturator Internus	Pelvic surface of obturator membrane and surrounding bone	Medial surface of greater trochanter of femur	Lumbosacral Plexus	Internal pudendal and obturator arteries
<b>JOINT</b>	<b>MOVEMENT</b>	<b>MUSCLE</b>	<b>ORIGO</b>	<b>INSERTIO</b>	<b>INNERVATION</b>	<b>VASKULARISASI</b>
Hip	Lateral Rotation	Obturator Externus	Margins of obturator foramen, obturator membrane	Trochanteric fossa of femur	Obturator n.	Medial circumflex femoral artery, obturator artery

		Sartorius	Anterior superior iliac spine and superior part of notch below it	Superior part of medial surface of tibia	Femoral n.	Femoral artery
		Gluteus maximus	Ilium posterior to posterior gluteal line, dorsal surface of sacrum and coccyx, sacrotuberous ligament	Most fibers end in iliotibial tract that inserts into lateral condyle of tibia; some fibers insert into gluteal, tuberosity of femur	Inferior gluteal nerve	Inferior gluteal arteries mainly, and superior gluteal arteries occasionally
Foot	Inverts of foot	Tibialis anterior	Lateral condyle, proximal half of lateral tibia, interosseous membrane	Medial plantar surfaces of medial cuneiform and base of 1st metatarsal	Deep fibular nerve	Anterior tibial artery
		Tibialis posterior	Posterior tibia below soleal line, interosseous membrane, proximal half of posterior fibula	Tuberosity of navicular bone, all cuneiforms, cuboid, and bases of 2nd through 4th metatarsals	Tibial nerve	Fibular artery
	Eversion of foot	Fibularis peroneus tertius	Distal third of anterior surface of fibula and interosseous membrane	Dorsum of base of 5th metatarsal	Deep fibular nerve	Anterior tibial artery

## DAFTAR PUSTAKA

1. Netter, F., 2014. *Atlas of Human Anatomy. 6<sup>th</sup> edition*. Philadelphia: Saunders Elsevier.
2. Drake, R. L., Vogl, W., and Mitchell, A. W. M., 2008. *Gray's Anatomy for Students. 40<sup>th</sup> ed.* London: Churchill Livingstone. Hal 81-125
3. Houglum, P., and Bertoti, D., 2012. *Brunstrom's Clinical Kinesiology Sixth Edition*. Philadelphia: F.A. Davis Company. Chapter 1 hal 3.



## **BAB VII**

### **PEMERIKSAAN TANDA-TANDA VITAL**

#### **VII.1. Tekanan Darah**

##### **VII.1.1. Definisi**

Tekanan darah merupakan daya yang dihasilkan oleh darah terhadap setiap satuan luas dinding pembuluh. Bila seseorang mengatakan bahwa tekanan dalam pembuluh adalah 100 mmHg hal itu berarti bahwa daya yang dihasilkan cukup untuk mendorong kolom air raksa melawan gravitasi sampai setinggi 100 mm<sup>(1)</sup>. Tekanan darah juga didefinisikan sebagai kekuatan lateral pada dinding arteri oleh darah yang didorong dengan tekanan dari jantung<sup>(2)</sup>.

Tekanan puncak terjadi saat ventrikel berkontraksi dan disebut tekanan sistolik. Tekanan diastolik adalah tekanan terendah yang terjadi saat jantung beristirahat. Tekanan darah biasanya digambarkan sebagai rasio tekanan sistolik terhadap tekanan diastolik, dengan nilai dewasa normalnya berkisar dari 100/60 mmHg sampai 140/90 mmHg. Rata-rata tekanan darah normal biasanya 120/80 mmHg<sup>(3)</sup>.

Tekanan darah timbul ketika bersirkulasi di dalam pembuluh darah. Organ jantung dan pembuluh darah berperan penting dalam proses ini dimana jantung sebagai pompa muskular yang menyuplai tekanan untuk menggerakkan darah, dan pembuluh darah yang memiliki dinding yang elastis dan ketahanan. yang kuat<sup>(4)</sup>. Tekanan darah diukur dalam satuan milimeter air raksa (mmHg)<sup>(5)</sup>.

##### **VII.1.2. Fisiologi**

Tekanan darah dipengaruhi oleh curah jantung dan resistensi pembuluh darah perifer (tahanan perifer). Curah jantung (*cardiac output*) adalah jumlah darah yang dipompakan oleh ventrikel ke dalam sirkulasi pulmonal dan sirkulasi sistemik dalam waktu satu menit, normalnya pada dewasa adalah 4-8 liter. *Cardiac output* dipengaruhi oleh volume sekuncup (*stroke volume*) dan kecepatan denyut jantung (*heart rate*). Resistensi perifer total (tahanan perifer) pada pembuluh darah dipengaruhi oleh jari-jari arteriol dan viskositas darah. Stroke volume atau volume sekuncup adalah jumlah darah yang dipompakan saat ventrikel satu kali berkontraksi normalnya pada orang dewasa normal yaitu  $\pm 70-75$  ml atau dapat juga diartikan sebagai perbedaan antara volume darah dalam ventrikel pada akhir diastolik dan volume sisa ventrikel pada akhir sistolik. Heart rate atau denyut jantung adalah jumlah kontraksi ventrikel

per menit. Volume sekuncup dipengaruhi oleh 3 faktor yaitu volume akhir diastolik ventrikel, beban akhir ventrikel (*afterload*), dan kontraktilitas dari jantung<sup>(1)</sup>.

Tubuh mensuplai darah ke seluruh jaringan, sehingga mampu memberikan gaya dorong berupa tekanan arteri rata-rata dan derajat vasokonstriksi arteriol-arteriol jaringan tersebut. Tekanan arteri rata-rata merupakan gaya utama yang mendorong darah ke jaringan. Tekanan arteri rata-rata harus dipantau dengan baik karena apabila tekanan ini terlalu tinggi dapat memperberat kerja jantung dan meningkatkan risiko kerusakan pembuluh darah serta terjadinya ruptur pada pembuluh-pembuluh darah halus. Tekanan arteri akan tetap normal melalui penyesuaian jangka pendek (dalam hitungan detik) dan penyesuaian jangka panjang (dalam hitungan menit sampai hari). Penyesuaian jangka pendek dilakukan dengan mengubah curah jantung dan resistensi perifer total yang diperantarai oleh sistem saraf otonom pada jantung, vena dan arteriol. Penyesuaian jangka panjang dilakukan dengan menyesuaikan volume darah total dengan cara menyeimbangkan garam dan air melalui mekanisme rasa haus dan pengeluaran urin<sup>(6)</sup>.

Penyimpangan pada arteri rata-rata akan mengaktifasi reflek baroreseptor untuk dapat menormalkan kembali tekanan darah yang diperantarai oleh saraf otonom. Hal ini yang mempengaruhi kerja jantung dan pembuluh darah dalam upaya menyesuaikan curah jantung dan resistensi perifer total. Reflek dan respon lain yang mempengaruhi tekanan darah yaitu reseptor volume atrium kiri, osmoreseptor hipotalamus yang penting dalam mengatur keseimbangan air dan garam, kemoreseptor yang terletak di arteri karotis dan aorta yang secara reflek akan meningkatkan pernafasan sehingga lebih banyak oksigen yang masuk. Respon lainnya yaitu respon yang berkaitan dengan emosi, kontrol hipotalamus terhadap arteriol kulit untuk mendahulukan pengaturan suhu daripada kontrol pusat kardiovaskular dan zat-zat vasoaktif yang dikeluarkan oleh sel-sel endotel seperti *endothelium-derived relaxing factor* (ERDF) atau *nitric oxide* (NO)<sup>(6)</sup>.

### **VII.1.3. Regulasi Tekanan Darah**

Pengaturan tekanan darah secara umum dibagi menjadi dua yaitu pengaturan tekanan darah untuk jangka pendek dan pengaturan tekanan darah untuk jangka panjang.

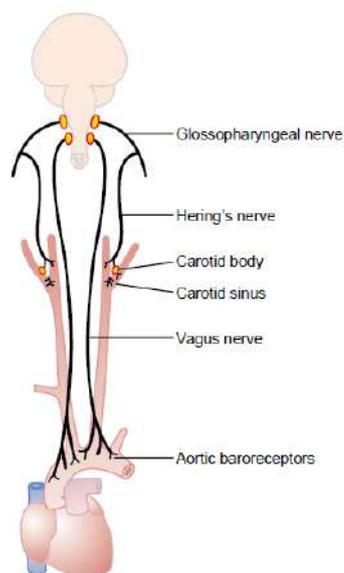
#### **a. Pengaturan tekanan darah jangka pendek**

##### **1) Sistem Saraf**

Sistem saraf mengontrol tekanan darah dengan mempengaruhi tahanan pembuluh darah. Kontrol ini bertujuan untuk mempengaruhi distribusi darah sebagai respon terhadap

peningkatan kebutuhan bagian tubuh yang spesifik, dan mempertahankan tekanan arteri rata-rata yang adekuat dengan mempengaruhi diameter pembuluh darah. Umumnya kontrol sistem saraf terhadap tekanan darah melibatkan baroreseptor, kemoreseptor, dan pusat otak tertinggi (hipotalamus dan serebrum)<sup>(7)</sup>. Menurut Sherwood (2010) refleks baroreseptor merupakan sensor utama pendeteksi perubahan tekanan darah<sup>(6)</sup>. Setiap perubahan pada tekanan darah rata-rata akan mencetuskan refleks baroreseptor yang diperantarai secara otonom, seperti yang disajikan pada Gambar 7.1.<sup>(1)</sup>

Sistem baroreseptor bekerja sangat cepat untuk mengkompensasi perubahan tekanan darah. Baroreseptor yang penting dalam tubuh manusia terdapat di sinus karotis dan arkus aorta. Baroreseptor secara terus menerus memberikan informasi mengenai tekanan darah, dan secara kontinu menghasilkan potensial aksi sebagai respon terhadap tekanan didalam arteri. Jika tekanan arteri meningkat, potensial aksi juga akan meningkat sehingga kecepatan pembentukan potensial aksi di neuron eferen yang bersangkutan juga ikut meningkat. Begitu juga sebaliknya, jika terjadi penurunan tekanan darah. Setelah mendapat informasi bahwa tekanan arteri terlalu tinggi oleh peningkatan potensial aksi tersebut, pusat kontrol kardiovaskuler merespon dengan mengurangi aktivitas simpatis dan meningkatkan aktivitas parasimpatis. Sinyal-sinyal eferen ini menurunkan kecepatan denyut jantung, menurunkan volume sekuncup, menimbulkan vasodilatasi arteriol dan vena serta menurunkan curah jantung dan resistensi perifer total, sehingga tekanan darah kembali normal. Begitu juga sebaliknya jika tekanan darah turun dibawah normal<sup>(1)</sup>.



Gambar 7.1 Sistem Baroreseptor untuk Mengendalikan Tekanan Arteri<sup>(1)</sup>

## 2) Kontrol kimia

Kadar oksigen dan karbondioksida membantu proses pengaturan tekanan darah melalui refleks kemoreseptor. Beberapa kimia darah juga mempengaruhi tekanan darah melalui kerja pada otot polos dan pusat vasomotor. Hormon yang penting dalam pengaturan tekanan darah adalah hormon yang dikeluarkan oleh medula adrenal (norepinefrin dan epinefrin), natriuretik atrium, hormon antidiuretik, angiotensin II, dan nitric oxide<sup>(7)</sup>.

### b. Pengaturan tekanan darah jangka panjang

Organ ginjal memiliki peran penting dalam pengaturan tekanan darah jangka panjang. Organ ginjal mempertahankan keseimbangan tekanan darah secara langsung dan secara tidak langsung. Mekanisme secara langsung dengan meregulasi volume darah rata-rata 5 liter/menit, sementara secara tidak langsung dengan melibatkan mekanisme renin angiotensin. Pada saat tekanan darah menurun, ginjal akan mengeluarkan enzim renin ke dalam darah yang akan mengubah angiotensin menjadi angiotensin II yang merupakan vasokonstriktor yang kuat<sup>(7)</sup>. Walaupun hanya berada 1 atau 2 menit dalam darah, tetapi angiotensin II mempunyai pengaruh utama yang dapat meningkatkan tekanan arteri, yaitu sebagai vasokonstriksi di berbagai daerah tubuh serta menurunkan ekskresi garam dan air oleh ginjal<sup>(8)</sup>.

### VII.1.4. Klasifikasi Tekanan Darah

Tekanan darah diklasifikasikan berdasarkan pada pengukuran rata-rata dua kali atau lebih pengukuran pada dua kali atau lebih kunjungan<sup>(9)</sup>.

Tabel 7.1 Klasifikasi Tekanan Darah Menurut JNC VII<sup>(10)</sup>

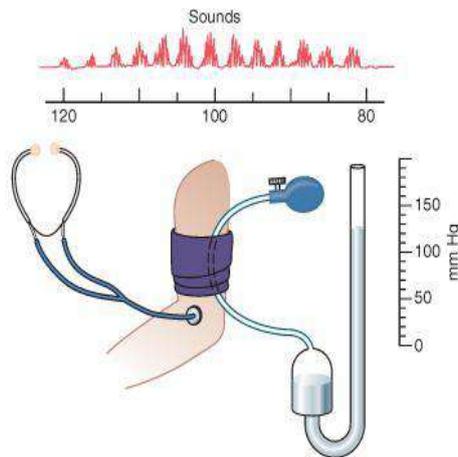
Klasifikasi tekanan darah	Tekanan darah sistolik (mmHg)	Tekanan darah diastolik (mmHg)
Normal	<120	Dan < 80
Prehipertensi	120 –139	Atau 80 – 89
Hipertensi tahap I	140 –159	Atau 90 – 99
Hipertensi tahap II	> 160	Atau >100

### VII.1.5. Pengukuran Tekanan Darah

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan darah adalah *sphygmomanometer* dan *stethoscope* yang telah dikalibrasi, seperti yang disajikan pada Gambar 7.2<sup>(1)</sup>. Menurut

Potter dan Perry (2005), pengukuran tekanan darah dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini<sup>(2)</sup>:

- a. Kaji tempat paling baik untuk melakukan pengukuran tekanan darah.
- b. Siapkan *sphygmomanometer* dan stetoskop serta alat tulis.
- c. Anjurkan pasien untuk menghindari kafein dan merokok 30 menit sebelum pengukuran.
- d. Bantu pasien mengambil posisi duduk atau berbaring.
- e. Posisikan lengan atas setinggi jantung dan telapak tangan menghadap ke atas.
- f. Gulung lengan baju bagian atas lengan.
- g. Palpasi arteri brakialis dan letakkan manset 2,5 cm diatas nadi brakialis, selanjutnya dengan manset masih kempis pasang manset dengan rata dan pas di sekeliling lengan atas.
- h. Pastikan sphygmomanometer diposisikan secara vertikal sejajar mata dan pengamat tidak boleh lebih jauh dari 1 meter.
- i. Letakkan *earpieces* stetoskop pada telinga dan pastikan bunyi jelas, tidak redup (*muffled*).
- j. Ketahui letak arteri brakialis dan letakkan *belt* atau *diafragma* chestpiece di atasnya serta jangan menyentuh manset atau baju pasien.
- k. Tutup kayup balon tekanan searah jarum jam sampai kencang.
- l. Gembungkan manset 30 mmHg diatas tekanan sistolik yang dipalpasi kemudian dengan perlahan lepaskan dan biarkan air raksa turun dengan kecepatan 2-3 mmHg per detik.
- m. Catat titik pada manometer saat bunyi pertama jelas terdengar.
- n. Lanjutkan mengempiskan manset, catat titik pada manometer sampai 2 mmHg terdekat atau saat bunyi tersebut hilang.
- o. Kempiskan manset dengan cepat dan sempurna. Buka manset dari lengan kecuali jika ada rencana untuk mengulang.
- p. Bantu pasien kembali ke posisi yang nyaman dan rapikan kembali lengan atas serta beritahu hasil pengukuran pada pasien.



Gambar 7.2 Cara Auskultasi untuk Mengukur Tekanan Arteri Sistolik dan Diastolik<sup>(1)</sup>.

### VII.1.6. Faktor-faktor yang Dapat Mempengaruhi Peningkatan Tekanan Darah

#### a. Usia.

Semakin tinggi umur seseorang semakin tinggi tekanan darahnya, jadi orang yang lebih tua cenderung mempunyai tekanan darah yang lebih tinggi dari orang yang berusia lebih muda<sup>(11)</sup>. Progresifitas hipertensi dimulai dari *pre-hypertension* pada pasien umur 10-30 tahun (dengan meningkatnya curah jantung) kemudian menjadi hipertensi dini pada pasien umur 20-40 tahun (dimana tahanan perifer meningkat) kemudian menjadi hipertensi pada umur 30-50 tahun dan akhirnya menjadi hipertensi dengan komplikasi pada usia 40-60 tahun. Pengaruh usia terhadap tekanan darah terjadi akibat penurunan elastisitas pembuluh darah arteri perifer sehingga meningkatkan resistensi pembuluh darah perifer. Peningkatan tahanan perifer akan meningkatkan tekanan darah<sup>(1)</sup>.

#### b. Jenis kelamin

Berdasarkan *Journal of Clinical Hypertension*, Oparil menyatakan bahwa perubahan hormonal yang sering terjadi pada wanita menyebabkan wanita lebih cenderung memiliki tekanan darah tinggi. Hal ini juga menyebabkan risiko wanita untuk terkena penyakit jantung menjadi lebih tinggi<sup>(12)</sup>. Wanita diketahui cenderung mempunyai tekanan darah lebih tinggi daripada laki-laki dengan usia yang sama, hal ini sering dikaitkan dengan semakin berkurangnya hormon seks wanita yang jumlahnya terus menurun setelah masa menopause dimana telah diketahui bahwa hormone seks wanita seperti estrogen bertanggung jawab dalam mengurangi mencegah kekakuan arteri, *endothelial dysfunction* dan penumpukan lemak dalam darah<sup>(13)</sup>.

### c. Stres

Stres merupakan suatu keadaan yang bersifat internal, yang dapat disebabkan oleh tuntutan fisik, lingkungan, dan situasi sosial yang berpotensi merusak dan tidak terkontrol<sup>(14)</sup>. Kondisi stres memicu aktivasi dari hipotalamus yang mengendalikan dua sistem neuroendokrin, yaitu sistem saraf simpatis dan korteks adrenal. Aktivasi dari sistem saraf simpatis memicu peningkatan aktivasi berbagai organ dan otot polos salah satunya meningkatkan kecepatan denyut jantung serta pelepasan epinefrin dan norepinefrin ke aliran darah oleh medula adrenal. Stimulasi aktivitas saraf simpatis akan meningkatkan resistensi pembuluh darah perifer dan curah jantung sehingga akan berdampak pada perubahan tekanan darah yaitu peningkatan tekanan darah secara intermiten atau tidak menentu<sup>(6)</sup>.

### d. Indeks Massa Tubuh (IMT)

Indeks Massa Tubuh (IMT) merupakan suatu pengukuran yang membandingkan berat badan dengan tinggi badan<sup>(1)</sup>. Rumus penghitungan Indeks Massa Tubuh (IMT) adalah

$$\text{IMT} = \frac{\text{Berat badan (kg)}}{[\text{Tinggi badan (m)}]^2}$$

Berikut merupakan klasifikasi IMT berdasarkan kriteria Asia Pasifik:

Tabel 7.2 Klasifikasi IMT (WHO, Western Asia Pasifik)<sup>(15)</sup>

<b>Klasifikasi</b>	<b>Berat Tubuh (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
Kurus	<18,5
Normal	18,5 – 22,9
Kelebihan Berat Badan	23 – 24,9
Obesitas I	25 – 29,9
Obesitas II	>30

Peningkatan indeks massa tubuh sering dihubungkan dengan kelainan kardiovaskular. Salah satu kelainan kardiovaskular yang terpenting adalah hipertensi. Banyak peneliti yang melaporkan bahwa indeks massa tubuh berkaitan dengan kejadian hipertensi dan diduga peningkatan berat badan berperan penting pada mekanisme timbulnya hipertensi pada penderita obes. Mekanisme terjadinya hipertensi pada kasus obesitas belum sepenuhnya dipahami, tetapi telah diketahui bahwa pada orang yang mengalami obesitas terdapat peningkatan volume plasma dan curah jantung yang akan meningkatkan tekanan darah<sup>(16)</sup>.

#### e. Kebiasaan Merokok

Merokok merupakan aktivitas menghisap asap tembakau yang dibakar ke dalam tubuh lalu menghembuskannya keluar<sup>(17)</sup>. Merokok merupakan salah satu kebiasaan hidup yang dapat mempengaruhi tekanan darah. Rokok yang dihisap dapat mengakibatkan peningkatan tekanan darah. Hal tersebut dikarenakan, rokok akan mengakibatkan vasokonstriksi pembuluh darah perifer dan pembuluh di ginjal sehingga terjadi peningkatan tekanan darah. Merokok sebatang setiap hari akan meningkatkan tekanan sistolik 10–25 mmHg dan menambah detak jantung 5–20 kali per menit<sup>(18)</sup>.

#### f. Pola makanan.

Makanan, alkohol dan kurangnya aktivitas fisik juga merupakan faktor- faktor resiko pre-hypertension. Makanan yang dikonsumsi seseorang memberikan kontribusi besar bagi kemungkinan *pre-hypertension*, dimana pada orang yang mengkonsumsi berlebihan garam menjadi beresiko lebih tinggi. Seseorang yang biasa dengan gaya hidup instan dan kurang aktivitas olahraga juga beresiko tinggi mengalami pre-hypertension. Konsumsi alkohol dalam jumlah besar juga rentan akan resiko peningkatan tekanan darah. Penelitian Lewa (2010) mengatakan bahwa lansia yang tidak melakukan aktivitas fisik akan meningkatkan risiko kejadian hipertensi sistolik terisolasi sebesar 2,33 kali lebih besar dibandingkan dengan lansia yang melakukan aktivitas fisik dan bermakna<sup>(19)</sup>. Menurut Bustan (2007) mengonsumsi tiga gelas atau lebih minuman beralkohol perhari dapat meningkatkan risiko menderita hipertensi sebesar dua kali<sup>(20)</sup>.

## VII.2. Denyut Nadi

### VII.2.1. Pengertian Denyut Nadi

Ketika jantung berdenyut, jantung memompa darah melalui aorta dan pembuluh darah perifer. Pemompaan ini menyebabkan darah menekan dinding arteri, menciptakan gelombang tekanan seiring dengan denyut jantung yang pada perifer terasa sebagai denyut/detak nadi. Denyut nadi ini dapat diraba/palpasi untuk menilai kecepatan jantung, ritme dan fungsinya. Sehingga Denyut nadi merupakan rambatan dari denyut jantung yang dihitung tiap menitnya dengan hitungan repetisi (kali/menit), dengan denyut nadi normal 60- 100 kali/menit. Waktu yang tepat untuk mengecek denyut nadi adalah saat kita bangun pagi dan sebelum melakukan aktivitas apapun. Pada saat itu kita masih relaks dan tubuh masih terbebas dari zat-zat pengganggu<sup>(21)</sup>.

## VII.2.2. Faktor Yang Mempengaruhi Frekuensi Denyut Nadi

Frekuensi denyut nadi manusia bervariasi, tergantung dari banyak faktor yang mempengaruhinya, yaitu :

### 1. Usia

Frekuensi nadi secara bertahap akan menetap memenuhi kebutuhan oksigen selama pertumbuhan. Pada orang dewasa efek fisiologi usia dapat berpengaruh pada sistem kardiovaskuler. Pada usia yang lebih tua lagi dari usia dewasa penentuan nadi kurang dapat dipercaya. Frekuensi denyut nadi pada berbagai usia, dengan usia antara bayi sampai dengan usia dewasa. Denyut nadi paling tinggi ada pada bayi kemudian frekuensi denyut nadi menurun seiring dengan penambahan usia<sup>(21)</sup>.

Tabel 7.3. Frekuensi Nadi berdasarkan usia<sup>(21)</sup>

No.	Usia	Frekuensi Nadi (denyut / menit)
1.	< 1 bulan	90 – 170
2.	< 1 tahun	80 – 160
3.	2 tahun	80 – 120
4.	6 tahun	75 – 115
5.	10 tahun	70 – 110
6.	14 tahun	65 – 100
7.	> 14 tahun	60 – 100

### 2. Jenis Kelamin

Denyut nadi yang tepat dicapai pada kerja maksimum pada wanita lebih tinggi dari pada pria. Pada laki-laki muda dengan kerja 50% maksimal rata-rata nadi kerja mencapai 128 denyut per menit, pada wanita 138 denyut per menit. Pada kerja maksimal pria rata-rata nadi kerja mencapai 154 denyut per menit dan pada wanita 164 denyut per menit<sup>(21)</sup>.

### 3. Kehamilan

Frekuensi jantung meningkat secara progresif selama masa kehamilan dan mencapai maksimal sampai masa aterm yang frekuensinya berkisar 20% diatas keadaan sebesar hamil<sup>(21)</sup>.

#### 4. Keadaan Kesehatan

Pada orang yang tidak sehat dapat terjadi perubahan irama atau frekuensi jantung secara tidak teratur. Kondisi seseorang yang baru sembuh dari sakit maka frekuensi jantungnya cenderung meningkat<sup>(21)</sup>.

#### 5. Riwayat Kesehatan

Riwayat seseorang berpenyakit jantung, hipertensi, atau hipotensi akan mempengaruhi kerja jantung. Demikian juga pada penderita anemia (kurang darah) akan mengalami peningkatan kebutuhan oksigen sehingga Cardiac output meningkat yang mengakibatkan peningkatan denyut nadi<sup>(21)</sup>.

#### 6. Rokok dan Kafein

Rokok dan kafein juga dapat meningkatkan denyut nadi. Pada suatu studi yang merokok sebelum bekerja denyut nadinya meningkat 10 sampai 20 denyut per menit dibanding dengan orang yang dalam bekerja tidak didahului merokok. Pada kafein secara statistik tidak ada perubahan yang signifikan pada variable metabolickardiovaskuler kerja maksimal dan sub maksimal<sup>(21)</sup>.

#### 7. Intensitas dan Lama Kerja

Berat atau ringannya intensitas kerja berpengaruh terhadap denyut nadi. Lama kerja, waktu istirahat, dan irama kerja yang sesuai dengan kapasitas optimal manusia akan ikut mempengaruhi frekuensi nadi sehingga tidak melampaui batas maksimal. Batas kesanggupan kerja sudah tercapai bila bilangan nadi kerja (rata-rata 24 nadi selama kerja) mencapai angka 30 denyut per menit dan di atas bilangan nadi istirahat. Sedang nadi kerja tersebut tidak terus menerus menanjak dan sehabis kerja pulih kembali pada nadi istirahat sesudah  $\pm 15$  menit<sup>(21)</sup>.

#### 8. Sikap Kerja

Posisi atau sikap kerja juga mempengaruhi tekanan darah. Posisi berdiri mengakibatkan ketegangan sirkulasi lebih besar dibandingkan dengan posisi kerja duduk<sup>(21)</sup>.

#### 9. Faktor Fisik

Kebisingan merupakan suatu tekanan yang merusak pendengaran. Selama itu dapat meningkatkan denyut nadi, dan mempengaruhi parameter fisiologis yang lain yang dapat menurunkan kemampuan dalam kerja fisik. Penerangan yang buruk menimbulkan ketegangan mata, hal ini mengakibatkan kelelahan mata yang berakibat pada kelelahan mental dan dapat memperberat beban kerja<sup>(21)</sup>.

## 10. Kondisi Psikis

Kondisi psikis dapat mempengaruhi frekuensi jantung. Kemarahan dan kegembiraan dapat mempercepat frekuensi nadi seseorang. Ketakutan, kecemasan, dan kesedihan juga dapat memperlambat frekuensi nadi seseorang<sup>(21)</sup>.

### VII.2.3. Tempat-tempat dan Cara Mengukur Denyut Nadi

Jantung merupakan organ berongga empat dan berotot yang berfungsi memompa darah lewat sistem pembuluh darah. Letak jantung di dalam rongga dada sebelah kiri bawah dari pertengahan rongga dada, di atas diafragma dan pangkalnya terdapat di belakang kiri, pada tempat ini terjadi pukulan jantung yang disebut iktus kordis. Jantung menggerakkan darah dengan kontraksi yang kuat dan teratur dari serabut otot yang membentuk dinding pada rongga-rongganya. Pola kontraksi sedemikian rupa, sehingga kedua bilik berkontraksi serempak dan hampir 1/10 detik kemudian dan kedua serambi berkontraksi bersama-sama<sup>(1)</sup>.

Cara untuk mengetahui kecepatan denyut jantung seseorang dapat dilakukan dengan menggunakan denyut nadi/ pulse rate, yaitu dengan cara menghitung perubahan tiba-tiba dari tekanan yang dirambatkan sebagai gelombang pada dinding darah, sedangkan pengukuran dapat dilakukan pada<sup>(1)</sup>:

1. Arteri Karotis (daerah leher),
2. Arteri Radialis (pergelangan tangan),
3. Arteri Femoralis (lipat paha),
4. Arteri Poplitea, (belakang lutut)
5. Arteri Dorsalis Pedis (daerah dorsum pedis),
6. Arteri Temporalis (ventral daun telinga).

Karena mudah diakses, nadi pada arteri radialis adalah metode yang paling banyak digunakan untuk mengukur denyut nadi.

Cara mengukur nadi radial:

1. Letakkan jari pertama dan kedua pada pergelangan tangan pasien antara tulang medial dan radius.
2. Tekan sampai nadi dapat teraba, tetapi hati-hati jangan sampai mengoklusi arteri (denyut nadi tidak akan teraba).
3. Hitung jumlah denyut dalam 30 detik, dan jika ritmenya teratur, kalikan dua jumlah tadi.

4. Hindari menghitung nadi hanya dalam 15 detik, karena kesalahan 1-2 denyut saja akan mengakibatkan kesalahan 4-8 kali kesalahan pada evaluasi kecepatan detak jantung. Juga, lebih mudah mengalikan dua daripada mengalikan denyut jantung empat kali.
5. Jika ritme tidak teratur, hitung denyut nadi dalam 1 menit. Catat temuan dalam denyut per menit (beats per minute/bpm).

Jadi secara tidak langsung denyut nadi sebagai indeks kerja jantung memiliki peranan yang penting bahkan dapat mengukur tingkatan seseorang saat latihan. Denyut nadi merupakan sebagian besar indeks pekerjaan jantung tetapi elastilitas pembuluh darah yang lebih besar, viskositas darah, resistensi arteriol dan kapiler memegang peranan dalam menetapkan sifat-sifat tertentu dari denyut nadi<sup>(1)</sup>.

#### **VII.2.4. Hal-hal yang dinilai saat Pemeriksaan Denyut Nadi**

1. Kecepatan.
  - a. Bradikardia : denyut jantung lambat (<60x/menit), didapatkan pada atlet yang sedang istirahat, tekanan intrakranial meningkat, peningkatan tonus vagus, hipotiroidisme, hipotermia, dan efek samping beberapa obat.
  - b. Tachikardia : denyut jantung lambat (100x/menit), biasa terjadi pada pasien dengan demam, feokromositoma, congestif heart failure, syok hipovolemik, aritmia kordis, pecandu kopi dan perokok.
  - c. Normal : 60-100x/menit pada dewasa.
2. Irama.
  - a. Reguler.
  - b. Regularly irregular : dijumpai pola dalam iregularitasnya.
  - c. Irregularly irregular : tidak dijumpai pola dalam iregularitasnya, terdapat pada fibrilasi atrium.
3. Volume nadi
  - a. Volume nadi kecil : tahanan terlalu besar terhadap aliran darah, darah yang dipompa jantung terlalu sedikit (pada efusi perikardial, stenosis katup mitral, payah jantung, dehidrasi, syok hemoragik).
  - b. Volume nadi yang berkurang secara lokal : peningkatan tahanan setempat.
  - c. Volume nadi besar : volume darah yang dipompakan terlalu banyak, tahanan terlalu rendah (pada bradikardia, anemia, hamil, hipertiroidisme).

### **VII.3. Frekuensi Pernapasan (Respiration Rate)**

#### **VII.3.1. Definisi**

Respirasi adalah pertukaran oksigen dan karbondioksida antara atmosfer dengan sel tubuh. Proses ini termasuk ventilasi (inhalasi dan ekshalasi), difusi oksigen dari alveoli ke darah dan karbondioksida dari darah ke alveoli serta transport oksigen ke sel dan karbondioksida dari sel. *Respiration rate* adalah jumlah pernapasan selama satu menit, biasanya diukur dengan gerakan dada<sup>(22)</sup>.

#### **VII.3.2. Struktur Sistem Respirasi : Paru, Jalan Napas dan Ruang Rugi**

##### **1. Paru**

Sistem respirasi terdiri dari sepasang paru di dalam rongga toraks. Fungsi utamanya adalah pertukaran gas, tetapi peran lain meliputi fungsi bicara, filtrasi mikrotrombus yang berasal dari vena sistemik, dan aktivitas metabolik seperti konversi angiotensin I menjadi angiotensin II, dan pembuangan atau deaktivasi serotonin, bradikinin, norepinefrin, asetilkolin dan obat-obatan seperti propranolol dan klorpromazin. Paru kanan dibagi oleh fissura transversa dan oblik menjadi tiga lobus: atas, tengah dan bawah. Paru kiri memiliki fissura oblik dan dua lobus. Pembuluh darah, saraf dan sistem limfatik memasuki paru pada permukaan medialnya di akar paru atau hilus. Setiap lobus dibagi menjadi sejumlah segmen bronkopulmonal yang berbentuk baji dengan bagian apeks pada hilus dan bagian dasarnya pada permukaan paru. Setiap segmen bronkopulmonal di suplai oleh bronkus segmental, arteri dan venanya sendiri serta dapat diangkat dengan pembedahan yang hanya menimbulkan sedikit perdarahan atau keluarnya udara dari paru yang masih ada<sup>(23)</sup>.

##### **2. Jalan Napas**

Saluran napas bagian atas terdiri dari hidung, faring, dan laring. Saluran napas bagian bawah dimulai dari trakea pada batas bawah kartilago krikoid, setinggi vertebra servikal keenam (C6). Saluran tersebut bercabang dua menjadi bronkus utama kanan dan kiri setinggi angulus sterni dan torakal keempat (lebih rendah saat berdiri tegak dan inspirasi). Bronkus utama kanan lebih lebar, lebih pendek, dan lebih vertikal daripada bronkus utama kiri, sehingga benda asing yang terinhalasi lebih mudah masuk ke bronkus kanan. Bronkus dan jalan napas sampai bronkiolus terminalis mendapatkan nutrisi dari arteri bronkialis yang berasal dari aorta desendens. Bronkiolus respiratorius, duktus dan sakus alveolaris disuplai oleh sirkulasi pulmonal<sup>(23)</sup>.

### 3. Ruang Rugi

Saluran napas atas dan jalan napas sampai sejauh bronkiolus terminal tidak berperan dalam pertukaran gas. Jalan napas konduktans tersebut membentuk ruang rugi anatomis ( $V_D$ ), yang volumenya dalam keadaan normal sekitar 150 mL. Jalan napas tersebut memiliki fungsi sebagai pengkondisi udara, penghangat, penyaring dan pelembab udara yang diinspirasi. Volume suatu pernapasan atau volume tidal ( $V_T$ ) adalah sekitar 500 mL saat istirahat. Frekuensi respirasi saat istirahat sekitar 15 kali/menit, sehingga volume yang masuk paru setiap menit, yaitu ventilasi semenit (minute ventilation) adalah sekitar 7500 mL/menit ( $= 500 \times 15$ ) saat istirahat. Ventilasi alveolar adalah volume yang berperan dalam pertukaran gas setiap menit. Saat istirahat, volume ruang rugi = 150 mL dan ventilasi alveolar adalah 5250 mL/menit ( $=(500-150) \times 15$ )<sup>(23)</sup>.

#### VII.3.3. Mekanisme Pernafasan

Agar terjadi pertukaran sejumlah gas untuk metabolisme tubuh diperlukan usaha keras pernafasan yang tergantung pada:

##### 1. Tekanan intra-pleural

Dinding dada merupakan suatu kompartemen tertutup melingkupi paru. Dalam keadaan normal paru seakan melekat pada dinding dada, hal ini disebabkan karena ada perbedaan tekanan atau selisih tekanan atmosfer (760 mmHg) dan tekanan intra pleural (755 mmHg). Sewaktu inspirasi diafragma berkontraksi, volume rongga dada meningkat, tekanan intra pleural dan intra alveolar turun dibawah tekanan atmosfer sehingga udara masuk sedangkan waktu ekspirasi volume rongga dada mengecil mengakibatkan tekanan intra pleural dan tekanan intra alveolar meningkat diatas atmosfer sehingga udara mengalir keluar<sup>(1)</sup>.

##### 2. Compliance

Hubungan antara perubahan tekanan dengan perubahan volume dan aliran dikenal sebagai *compliance*.

Ada dua bentuk *compliance*:

- a. *Static compliance*, perubahan volume paru persatuan perubahan tekanan saluran nafas (*airway pressure*) sewaktu paru tidak bergerak. Pada orang dewasa muda normal : 100 ml/cm H<sub>2</sub>O.
- b. *Effective Compliance* : (*tidal volume/peak pressure*) selama fase pernafasan. Normal:  $\pm 50$  ml/cm H<sub>2</sub>O.

*Compliance* dapat menurun karena:

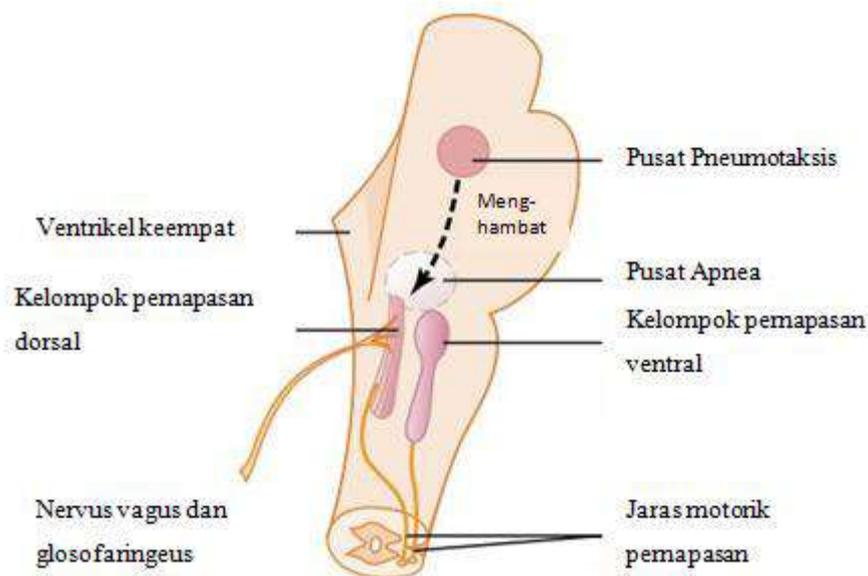
- a. *Pulmonary stiffes* : atelektasis, *pneumonia*, *edema* paru, *fibrosis* paru
- b. *Space occupying proses*: *effuse pleura*, *pneumothorak*
- c. *Chestwall undistensibility*: *kifoskoliosis*, *obesitas*, *distensi abdomen*

Penurunan *compliance* akan mengakibatkan meningkatnya usaha/kerja nafas<sup>(1)</sup>.

### VII.3.4. Pengaturan Pernapasan

#### 1. Pusat Pernapasan

Pusat pernapasan terdiri atas beberapa kelompok neuron yang terletak bilateral di medula oblongata dan pons pada batang otak, seperti dilukiskan pada gambar 7. 3. Daerah ini dibagi menjadi tiga kelompok neuron utama : kelompok neuron pernapasan dorsal, kelompok pernapasan ventral dan pusat pneumotaksik<sup>(1)</sup>.



Gambar 7.3. Susunan Pusat Pernapasan(1)

#### a. Kelompok pernapasan dorsal

Kelompok pernapasan dorsal terletak di bagian dorsal medula, terutama menyebabkan inspirasi. Kelompok pernapasan dorsal memegang peranan paling mendasar dalam mengendalikan pernapasan dan menempati sebagian besar panjang medula. Sebagian besar neuronnya terletak di dalam nukleus traktus solitarius (NTS), walaupun neuron-neuron tambahan di substansia retikularis medula yang berdekatan juga memegang peranan penting dalam mengendalikan pernapasan. Nukleus traktus

solitarius merupakan ujung sensoris dari nervus vagus dan nervus glossopharingeus yang mentransmisikan sinyal sensoris ke dalam pusat pernapasan dari kemoreseptor perifer, baroreseptor dan berbagai macam reseptor dalam paru<sup>(1)</sup>.

#### b. Kelompok neuron pernapasan ventral

Kelompok neuron pernapasan ventral terletak di ventrolateral medula, terutama menyebabkan ekspirasi. Kelompok pernapasan ventral terdapat di bagian rostral dari nukleus ambiguus dan bagian kaudal dari nukleus retroambiguus, terletak pada setiap sisi medula, kira-kira 5 mm di sebelah anterior dan lateral kelompok pernapasan dorsal(1).

#### c. Pusat Pneumotaksik

Pusat pneumotaksik terletak di sebelah dorsal bagian superior pons di dalam nukleus parabrakialis, terutama mengatur kecepatan dan kedalaman pernapasan(1).

### 2. Pengendalian Kimiawi Pada Pernapasan

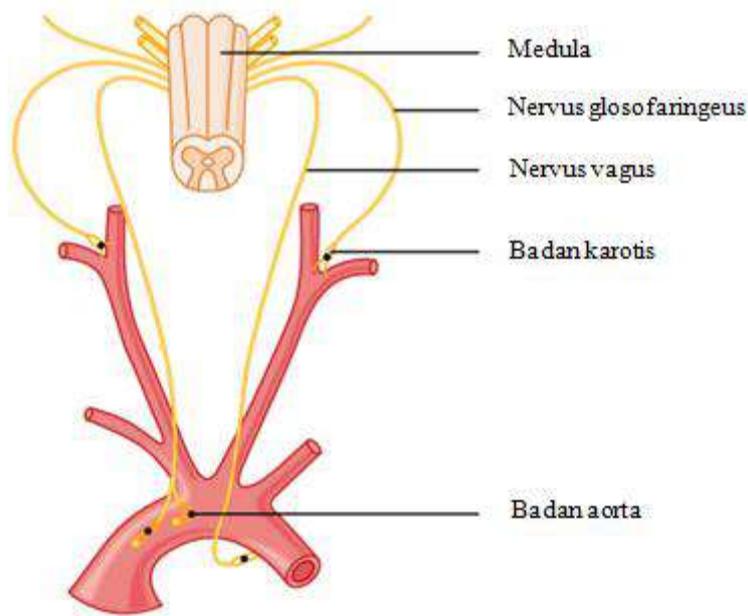
Tujuan akhir pernapasan adalah untuk mempertahankan konsentrasi oksigen, karbon dioksida dan ion hidrogen yang sesuai dalam jaringan. Untungnya aktivitas pernapasan sangat responsif terhadap perubahan masing-masing konsentrasi tersebut.

Kelebihan karbondioksida atau kelebihan ion hidrogen dalam darah terutama bekerja langsung pada pusat pernapasan itu sendiri, menyebabkan kekuatan sinyal motorik inspirasi dan ekspirasi ke otot-otot pernapasan sangat meningkat.

Oksigen sebaliknya, tidak mempunyai efek langsung yang bermakna terhadap pusat pernapasan di otak dalam pengendalian pernapasan. Justru, oksigen bekerja hampir seluruhnya pada kemoreseptor perifer yang terletak di badan-badan karotis dan aorta, dan kemudian mengirimkan sinyal saraf yang sesuai ke pusat pernapasan untuk pengendalian pernapasan<sup>(1)</sup>.

### 3. Sistem Kemoreseptor Perifer

Selain pengendalian pernapasan oleh pusat pernapasan itu sendiri, masih ada mekanisme lain yang tersedia untuk mengendalikan pernapasan. Mekanisme ini adalah sistem kemoreseptor perifer yang tampak pada gambar 7.4. Reseptor kimia saraf khusus, yang disebut kemoreseptor, terletak di beberapa area di luar otak. Reseptor ini khususnya penting untuk mendeteksi perubahan oksigen dalam darah, walaupun reseptor itu juga sedikit berespons terhadap perubahan konsentrasi karbon dioksida dan ion hidrogen. Kemoreseptor mengirimkan sinyal saraf ke pusat pernapasan di otak untuk membantu mengatur aktivitas pernapasan<sup>(1)</sup>.



Gambar 7.4. Pengendalian Pernapasan oleh Kemoreseptor Perifer di dalam Badan Karotis dan Badan Aorta<sup>(1)</sup>.

Sebagian besar kemoreseptor terletak di badan karotis. Namun, sejumlah kecil juga terletak di badan aorta, yang diperlihatkan pada gambar 7.4.; dan dalam jumlah sangat sedikit terletak di tempat lain yang berkaitan dengan arteri-arteri lainnya, regio toraks dan regio abdomen.

Badan karotis terletak bilateral pada percabangan arteri karotis komunis. Serabut saraf aferennya berjalan melalui nervus hering ke nervus glossofaringeus dan kemudian ke area pernapasan dorsal di medula. Badan aorta terletak di sepanjang arkus aorta; serabut saraf aferennya berjalan melalui nervus vagus, juga ke area pernapasan dorsal medula.

Tiap badan kemoreseptor ini menerima suplai darah khusus miliknya sendiri melalui arteri kecil secara langsung dari arteri besar yang berdekatan. Darah yang mengalir melalui badan-badan ini bersifat ekstrem yaitu 20 kali berat badannya sendiri setiap menit. Oleh karena itu, persentase pemindahan oksigen dari darah yang mengalir sebetulnya nol. Hal ini berarti bahwa kemoreseptor setiap saat terpajan dengan darah arteri, bukan dengan darah vena, dan  $P_{O_2}$ -nya merupakan  $P_{O_2}$  arteri<sup>(1)</sup>.

### VII.3.5. Pemeriksaan Pernafasan

*Respiratory rate* atau laju pernapasan adalah indikator yang paling sensitif dan penting saat melakukan dan merekam tanda-tanda vital<sup>(24)</sup>. Idealnya, sebelum menghitung laju pernapasan, pasien harus beristirahat selama kurang lebih 5 menit<sup>(25)</sup>. Anda harus menghitung jumlah napas per menit dengan melihat gerakan naik dan turun dada. Laju pernapasan adalah jumlah total napas selama 1 menit. Pada orang dewasa, kisaran normal laju respirasi adalah 12-20 kali napas per menit dan tergantung pada berbagai faktor kesehatan. Ketika menghitung laju pernapasan pasien, penting untuk mengamati kedalaman, ritme dan simetri gerakan naik dan turun dada. Penting juga diperhatikan bahwa pasien tidak boleh menyadari bahwa Anda sedang menghitung tingkat pernapasan mereka karena mereka mungkin mengubah pola pernapasannya<sup>(26)</sup>.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Guyton, A. C., dan Hall, J. E., 2008. *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran*. Edisi 11. Jakarta: EGC.
2. Potter, P. A., Perry, A. G., 2005. *Buku Ajar Fundamental Keperawatan: Konsep, Proses, dan Praktik*. Edisi 4. Volume 2. Alih Bahasa: Renata Komalasari, dkk. Jakarta: EGC.
3. Bare, B. G., Smeltzer, S. C., 2001. *Buku Ajar Keperawatan Medikal Bedah*. Jakarta: EGC.
4. Hayens, B., 2003. *Buku pintar menaklukkan Hipertensi*. Jakarta: Ladang Pustaka.
5. Palmer, dkk., 2007. *Tekanan Darah Tinggi*. Jakarta: Erlangga.
6. Sherwood, L. 2010. *Human Physiology: From Cells to Systems*. 7th Ed. Canada: Yolanda Cossio.
7. Rokhaeni, H., Purnamasari, E., & Rahayoe, A. U., 2001. *Buku Ajar Keperawatan Kardiovaskuler*. Jakarta: Bidang Diklat PK. Jantung dan Pembuluh Darah Harapan Kita.
8. Ronny, S. F., 2008. *Fisiologi Kardiovaskuler: Berbasis Masalah Keperawatan*. Jakarta: EGC.
9. Wilson, L. M., dan Price, A. P., 1995. *Patofisiologi: Konsep Klinis Proses-Proses Penyakit*. Edisi ke-4. Jakarta: EGC.
10. Chobanian, A. V., Bakris, G. L., Black, H. R., Cushman, W. C., Green, L. A., Jones, D. W., Meterson, B. J., Parih, S., Wright, J. T., Roccella, W. J., 2003. The Seventh Report of The Joint National Committee on Prevention, Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. *The JNC 7 Express*, U.S. Department of Health and Human Services, New York.
11. Isselbacher, K. J., *et al.*, 2000. Nutrition. Dalam: *Harrison's Principles of Internal Medicine*. 3rd ed. Singapore: Mac Graw Hill, 512-515.
12. Miller, C., 2010. *Factors Affecting Blood Pressure and Heart Rate*. Dikutip dari <http://www.livestrong.com/article/196479-factors-affecting-blood-pressure-heart-rate/> pada tanggal 26 Mei 2016.
13. Selvinna, Setiabudy Rianto., 2005. Disfungsi Endotel dan Obat Antihipertensi. *Cermin Dunia Kedokteran*. 147:20-25.
14. Mustacchi, P., 1990. Stress and Hypertension. *West J Med*. 1990 Aug; 153(2): 180–185.

15. Grummer-Strawn, L. M., et al., 2002. *American Journal of Clinical Nutrition*. Dalam: Centers of Disease Control and Prevention, 2009. Assessing Your Weight: About BMI for Adult. Dikutip dari [http://cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult\\_bmi/index.html](http://cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult_bmi/index.html) pada tanggal 26 Mei 2016.
16. Aneja, A., El-Atat, F., McFarlane, S. I., Sowers, J. R., 2004. Hypertension and Obesity. *Recent Prog Horm Res*. 59: 169 –205.
17. Armstrong, Sue., 1982. *Pengaruh Rokok terhadap Kesehatan*. Jakarta: Kesehatan Populer Arcan.
18. Sitepoe, Mangku., 2000. *Kekhususan Rokok di Indonesia*. Cetakan I. Jakarta: PT Gramedia Widiasarana Indonesia.
19. Lewa, A. F., Pramantara, I. D. P., dan Rahayujati, T. B., 2010. Faktor Risiko Hipertensi Sistolik Terisolasi pada Lanjut Usia. *Berita Kedokteran Masyarakat*. 26(4): 171-178.
20. Bustan, M.N., 2007. *Epidemiologi Penyakit Menular*. Jakarta: Rineka Cipta.
21. Majid, A., 2005. *Fisiologi Kardiovaskular. Edisi kedua*. Medan: Fakultas Kedokteran Universitas Sumatera Utara.
22. Dorland, W. A., Newman., 2010. *Kamus Kedokteran Dorland*. Edisi 31. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
23. Ward, J .P. T., Ward, J., Leach, M. L., Wiener, C. M., 2008. *At a Glance Sistem Respirasi*. Edisi kedua. Alih bahasa: Huriawati Hartanto. Jakarta: Penerbit Erlangga.
24. McQuillan, P., Pilkington, A., Allan, A., 1998. Confidential Inquiry into Quality of Care before Admission to Intensive Care. *British Medical Journal* 316: 1853-1858
25. Bennet, C., 2003. Nursing the breathless patient. *Nursing Standard*. 17(17): 45-51.
26. Smith, J., Roberts, R., 2011. *Vital Signs for Nurses An Introduction to Clinical Observations*. Oxford: Blackwell Publishing.

## **Bab VIII**

### **Pemeriksaan Otot**

#### **VIII.1. Pengukuran Kekuatan Otot**

##### **VIII.1.1. Secara umum**

###### **A. Manual muscle testing**

Suatu cara pemeriksaan untuk mengetahui kekuatan otot atau kemampuan mengontraksikan otot secara volunteer dengan tujuan membantu menegakkan diagnosa<sup>(1)</sup>.

Prosedur melakukan MMT:

1. Pasien diposisikan sedemikian rupa sehingga otot mudah berkontraksi sesuai dengan kekuatannya. Posisi yang dipilih harus memungkinkan kontraksi otot dan gerakan mudah diobservasi
2. Bagian tubuh yang dites harus terbebas dari pakaian yang menghambat
3. Berikan penjelasan dan contoh gerakan yang harus dilakukan
4. Pasien mengontraksikan ototnya dan stabilisasi diberikan pada segmen proksimal
5. Selama terjadi kontraksi, gerakan yang terjadi diobservasi
6. Memberikan tahanan pada otot yang dapat bergerak dengan luas gerak sendi penuh dan melawan gravitasi
7. Melakukan pencatatan hasil MMT<sup>(1)</sup>.

###### Penilaian

1. Grade 5 (normal): Kemampuan otot bergerak melalui lingkup gerak sendi penuh melawan gravitasi serta dapat melawan tahanan maksimal.
2. Grade 4 (good): Kemampuan otot bergerak melalui lingkup gerak sendi penuh melawan gravitasi serta dapat melawan tahanan yang ringan sampai sedang.
3. Grade 3 (fair): Kemampuan otot bergerak melalui lingkup gerak sendi penuh melawan gravitasi namun tidak dapat melawan tahanan yang ringan sekalipun.
4. Grade 2 (poor): Kemampuan otot bergerak melalui lingkup gerak sendi penuh tetapi tidak dapat melawan gravitasi, atau hanya dapat bergerak dalam bidang horisontal.
5. Grade 1 (trace): otot tidak mampu bergerak melalui lingkup gerak sendi penuh dalam bidang horisontal, hanya terlihat gerakan otot minimal atau teraba kontraksi oleh pemeriksa.
6. Grade 0 (zero): tidak ada kontraksi otot sama sekali baik pada inspeksi maupun palpasi<sup>(1)</sup>.

Tabel 8.1. Ringkasan assesmen pengukuran kekuatan otot<sup>(1)</sup>

Upper Limb Chart	Muscle*	Nerve, Roots	Plexus	Manual Muscle Testing Technique	Figure
Shoulder flexion	<i>Deltoid, anterior portion</i>	Axillary, C5, C6	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The shoulder is flexed to 90 degrees with the elbow flexed at 90 degrees.</li> <li>• The practitioner should attempt to force the arm into extension, with force applied over the distal humerus.</li> </ul>	
	<i>Pectoralis major, clavicular portion</i>	Medial or lateral pectoral, C5-T1	—		
	<i>Biceps brachii</i>	Musculocutaneous, C5, C6	Lateral cord		
	<i>Coracobrachialis</i>	Musculocutaneous, C5-7			
Extension	<i>Deltoid, posterior portion</i>	Axillary, C5, C6	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The shoulder is extended to 45 degrees with the elbow extended.</li> <li>• The practitioner attempts to force the arm into flexion, with force applied over the distal humerus.</li> </ul>	
	<i>Latissimus dorsi</i>	Thoracodorsal, C6-8			
	<i>Teres major</i>	Lower subscapular, C5, C6			
Abduction	<i>Deltoid, middle portion</i>	Axillary, C5, C6	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The shoulder is placed in 90 degrees of abduction.</li> <li>• The practitioner attempts to adduct the arm, with force applied over the distal humerus.</li> </ul>	
	<i>Supraspinatus</i>	Suprascapular, C5, C6	Upper trunk		
Adduction	<i>Pectoralis major</i>	Medial or lateral pectoral, C5-T1	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The patient is supine with the shoulder in 120 degrees of abduction and the elbow flexed.</li> <li>• The practitioner resists adduction of the arm.</li> </ul>	
	<i>Latissimus dorsi</i>	Thoracodorsal, C6-8	Posterior cord		
	<i>Teres major</i>	Lower subscapular, C5, C6			
Internal rotation	<i>Subscapularis</i>	Upper or lower subscapular, C5, C6	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The patient is prone and the shoulder is abducted to 90 degrees with full internal rotation and the elbow at 90 degrees of flexion.</li> <li>• The practitioner attempts to externally rotate the arm, applying force over the distal forearm.</li> </ul>	
	<i>Pectoralis major</i>	Medial or lateral pectoral, C5-T1	—		
	<i>Latissimus dorsi</i>	Thoracodorsal, C6-8	Posterior cord		
	<i>Deltoid, anterior portion</i>	Axillary, C5, C6			
	<i>Teres major</i>	Lower subscapular, C5, C6			
External rotation	<i>Infraspinatus</i>	Suprascapular, C5, C6	Upper trunk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The patient is prone and the shoulder is placed in 90 degrees of abduction with full external rotation and the elbow at 90 degrees of flexion.</li> <li>• The practitioner attempts to internally rotate the arm, applying force over the distal forearm.</li> </ul>	
	<i>Teres minor</i> <i>Deltoid, posterior portion</i>	Axillary, C5, C6	Posterior cord		

Upper Limb Chart	Muscle*	Nerve, Roots	Plexus	Manual Muscle Testing Technique	Figure
Elbow flexion	<i>Biceps brachii</i>	Musculocutaneous, C5, C6	Lateral cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The elbow is positioned in 90 degrees of flexion.</li> <li>• The practitioner attempts to extend the elbow, applying force over the distal forearm.</li> <li>• The biceps muscle is the primary elbow flexor, with full forearm supination.</li> <li>• The brachialis is the primary flexor, with full forearm pronation.</li> <li>• The brachioradialis is the primary elbow flexor when the forearm is in a thumbs-up position.</li> </ul>	
	Brachialis				
	Brachioradialis	Radial, C5, C6	Posterior cord		
Extension	<i>Triceps</i>	Radial, C6–8	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The elbow is placed into flexion to prevent stabilization and to detect subtle weakness.</li> <li>• The practitioner attempts to flex the elbow, applying force over the distal forearm.</li> </ul>	
Forearm pronation	<i>Pronator quadratus</i>	Anterior interosseus branch of median, C8, T1	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The forearm is placed in full pronation.</li> <li>• The practitioner attempts to supinate the forearm, applying force to the distal forearm.</li> <li>• The pronator teres is tested when the elbow is at 90 degrees.</li> <li>• The pronator quadratus is tested when the elbow is in full flexion.</li> </ul>	
	<i>Pronator teres</i>	Median, C6, C7	Lateral cord		
Forearm pronation	<i>Pronator quadratus</i>	Anterior interosseus branch of median, C8, T1	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The forearm is placed in full pronation.</li> <li>• The practitioner attempts to supinate the forearm, applying force to the distal forearm.</li> <li>• The pronator teres is tested when the elbow is at 90 degrees.</li> <li>• The pronator quadratus is tested when the elbow is in full flexion.</li> </ul>	
	<i>Pronator teres</i>	Median, C6, C7	Lateral cord		
Forearm supination	<i>Supinator</i>	Radial (posterior interosseus nerve), C5, C6	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The elbow is extended with the forearm in full supination. This position inhibits assistance from the biceps.</li> <li>• The practitioner attempts to pronate the forearm, applying force to the distal forearm.</li> </ul>	
	<i>Biceps brachii</i>	Musculocutaneous, C5, C6	Lateral cord		

Upper Limb Chart	Muscle-	Nerve, Roots	Plexus	Manual Muscle Testing Technique	Figure
Wrist flexion	<i>Flexor carpi radialis</i>	Median, C6-8	Lateral cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>The wrist is placed in neutral position in full flexion, with the fingers extended.</li> <li>The practitioner attempts to extend the wrist, applying force at the midpalm level.</li> <li>The flexor carpi radialis is tested by placing the wrist in radial deviation and full flexion. The practitioner attempts to force the wrist into extension and ulnar deviation.</li> <li>To test the flexor carpi ulnaris, the wrist is placed in ulnar deviation and full flexion. The practitioner attempts to force the wrist into extension and radial deviation.</li> </ul>	
	<i>Flexor carpi ulnaris</i>	Ulnar, C6-8	Medial cord		
Wrist extension	<i>Extensor carpi radialis longus</i>	Radial, C6, C7	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>The wrist is fully extended in a neutral position.</li> <li>The practitioner attempts to flex the wrist, applying pressure over the dorsum of the hand.</li> <li>To test the extensor carpi radialis longus, the patient's wrist is placed into radial deviation and full extension. The practitioner attempts to force the wrist into flexion and ulnar deviation.</li> <li>To test the extensor carpi ulnaris, the wrist is placed in ulnar deviation and full extension. The practitioner attempts to force the wrist into flexion and radial deviation.</li> </ul>	
	<i>Extensor carpi radialis brevis</i>				
	<i>Extensor carpi ulnaris</i>	Radial, C7, C8			
Thumb abduction	<i>Abductor pollicis brevis</i>	Median, C8, T1	Lateral or medial cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>The thumb is abducted perpendicular to the plane of the palm.</li> <li>The practitioner attempts to adduct the thumb (toward the palm), applying pressure just above the first metacarpophalangeal joint.</li> </ul>	
	<i>Abductor pollicis longus</i>	Radial, C7, C8	Posterior cord		
	<i>Extensor pollicis brevis</i>				
Thumb opposition	<i>Opponens pollicis</i>	Median, C8, T1	Lateral or medial cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>The thumb is placed in opposition.</li> <li>The practitioner attempts to return the thumb into anatomic position, applying force above the first metacarpophalangeal joint.</li> </ul>	
	<i>Flexor pollicis brevis</i>	Median: superficial Head Ulnar: deep head, C8, T1			
	<i>Abductor pollicis brevis</i>	Median, C8, T1			

Upper Limb Chart	Muscle*	Nerve, Roots	Plexus	Manual Muscle Testing Technique	Figure
Second to fifth digit flexion	<i>Flexor digitorum superficialis</i>	Median, C7, C8, T1	Lateral or medial cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The flexor digitorum superficialis extends to the proximal phalanx.</li> <li>• The practitioner attempts to force each proximal phalangeal joint into extension from a position of flexion.</li> <li>• The flexor digitorum profundus extends to the distal phalanx.</li> <li>• The practitioner tests both superficialis and profundus by forcing each middle phalangeal joint into extension from flexion.</li> <li>• The primary flexors of the metacarpophalangeal joints of the second to fourth digits are the lumbricals and the interossei. The practitioner tests these muscles by forcing each metacarpophalangeal joint into extension from a position of flexion.</li> <li>• The primary flexors of the fifth digit metacarpophalangeal joint are the flexor and abductor digiti minimi muscles.</li> <li>• The practitioner can test for fifth digit abduction.</li> </ul>	
	<i>Flexor digitorum profundus</i>	Lateral portion: median Medial portion: ulnar, C7, C8, T1			
	Lumbricals	Lateral two: median Medial two: ulnar, C8, T1			
	Interossei	Ulnar, C8, T1			
Second to fifth digit extension	<i>Extensor digitorum communis</i>	Radial, C6–8	Posterior cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The second to fifth digits are placed in extension with the wrist at neutral position.</li> <li>• The practitioner attempts to force each finger into flexion by applying force over each proximal phalanx.</li> </ul>	
	<i>Extensor indicis</i>	Radial, C7, C8			
	<i>Extensor digiti minimi</i>				
Second to fourth digit abduction, first to fifth digit adduction	<i>Dorsal or palmar interossei</i>	Ulnar, C8, T1	Medial cord	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abduction is tested by placing each digit in abduction and attempting to force the digit into adduction.</li> <li>• The third digit cannot adduct, as movement of this digit to either side is abduction.</li> </ul>	
Fifth digit abduction	<i>Abductor digiti minimi</i>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• The patient's fifth digit is placed in abduction.</li> <li>• The practitioner attempts to force the digit into adduction by applying force above the metacarpophalangeal joint.</li> </ul>	
	<i>Flexor digiti minimi</i>				

Lower Limb Chart	Muscle(s)*	Nerve, Roots	Testing	Figure
Hip flexion	<i>Iliacus</i>	Femoral, L2- 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hip flexion can be tested with the patient in a seated or supine position.</li> <li>• With the patient in the supine position, the practitioner forces the hip into extension, applying force over the distal anterior thigh.</li> <li>• With the patient in a sitting position, the hip is flexed while the practitioner attempts to extend the knee.</li> </ul>	
	<i>Psoas</i>	Lumbar plexus, L1- 4		
	Tensor fascia lata	Superior gluteal, L4, L5, S1		
	Rectus femoris	Femoral, L2- 4		
	Pectineus	Femoral or obturator, L2, L3		
Adductor longus, brevis, anterior portion of magnus	Obturator, L2- 4			
Hip extension	<i>Gluteus maximus</i>	Inferior gluteal, L5, S1, S2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• With the patient in a prone position, the hip is extended with the knee flexed to 90 degrees.</li> <li>• The practitioner attempts to flex the hip, applying force over the distal posterior thigh.</li> </ul>	
Hip abduction	<i>Gluteus medius</i>	Superior gluteal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The patient is placed in a side-lying position with the hip abducted.</li> <li>• The practitioner attempts to adduct the hip, applying force over the distal lateral thigh.</li> <li>• The test can also be performed with the patient seated. With the patient seated, the hips are abducted. The practitioner adducts the hips, applying force over the distal lateral thighs.</li> </ul>	
Hip adduction	<i>Adductor brevis</i>	Obturator, L2- 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• With the patient in a side-lying position, the practitioner positions the top leg in abduction, and the patient is asked to bring the bottom leg up into adduction to meet the top leg.</li> <li>• The practitioner attempts to abduct the bottom leg, applying pressure over the distal medial thigh.</li> <li>• The test can also be performed with the patient seated. With the patient seated, the hips are adducted. The practitioner abducts the hips, applying force over the distal medial thighs.</li> </ul>	 
	<i>Adductor longus</i> <i>Adductor magnus, anterior portion</i>	Obturator, L3, L4		
	<i>Pectineus</i>	Femoral or obturator, L2, L3		

Lower Limb Chart	Muscle(s)*	Nerve, Roots	Testing	Figure
Hip internal rotation	<i>Tensor fascia lata</i>	Superior gluteal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>The patient is seated with knees flexed at 90 degrees, and the hip is internally rotated.</li> <li>The practitioner uses one hand to externally rotate the leg, applying lateral force just above the ankle, while stabilizing the knee with the other hand.</li> </ul>	
	Pectineus	Femoral or obturator, L2, L3		
	Gluteus minimus, anterior portion	Superior gluteal, L4, L5, S1		
Hip external rotation	<i>Piriformis</i>	Nerve to piriformis, S1, S2	<ul style="list-style-type: none"> <li>The patient is seated with knees flexed at 90 degrees, and the hip is externally rotated.</li> <li>The practitioner uses one hand to internally rotate the leg, applying medial force just above the ankle, while stabilizing the knee with the other hand.</li> </ul>	
	Gluteus maximus	Inferior gluteal, L5, S1, S2		
	Superior gemelli or obturator internus	Nerve to obturator internus, L5, S1, S2		
	Inferior gemelli or quadratus femoris	Nerve to quadratus femoris, L4, L5, S1		
Knee flexion	<i>Semitendinosus</i> <i>Semimembranosus</i>	Tibial portion of sciatic, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>The patient's knee is flexed at 90 degrees while the patient is prone.</li> <li>The practitioner attempts to force the leg into extension, applying pressure over the posterior tibial surface.</li> </ul>	
	<i>Biceps femoris</i>	Tibial portion of sciatic, L5, S1, S2		
Knee extension	<i>Quadriceps femoris</i>	Femoral, L2-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>The knee is placed at 30 degrees of flexion while the patient is seated or supine. Try to avoid full knee extension because the patient can stabilize the knee, allowing minor weakness to be missed.</li> <li>The practitioner attempts to force the leg into flexion, applying pressure over the anterior tibial surface.</li> </ul>	
Ankle dorsiflexion	<i>Tibialis anterior</i>	Deep peroneal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>The ankle is placed in dorsiflexion.</li> <li>The practitioner attempts to force the ankle into plantar flexion, applying force over the dorsum of the foot.</li> <li>To test the anterior tibialis, the ankle is inverted and fully dorsiflexed. The practitioner attempts to plantar flex and evert the ankle.</li> <li>To test the extensor digitorum longus, the ankle is everted and fully dorsiflexed. The practitioner attempts to plantar flex and invert the ankle.</li> </ul>	

Lower Limb Chart	Muscle(s)*	Nerve, Roots	Testing	Figure
Plantar flexion	Gastrocnemius Soleus	Tibial, S1, S2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The ankle is placed in plantar flexion.</li> <li>• The practitioner attempts to dorsiflex the foot, applying pressure over the plantar surface of the foot.</li> <li>• To test the gastrocnemius, the knee is extended.</li> <li>• To test the soleus, the knee is flexed at 90 degrees.</li> <li>• standing or walking on toes can show weakness missed during manual muscle testing.</li> </ul>	
Inversion	Tibialis anterior	Deep peroneal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The tibialis anterior is tested in a position of inversion and dorsiflexion. The practitioner attempts to evert and plantar flex the foot, applying pressure on the medial surface of the foot.</li> <li>• The other three muscles produce plantar flexion and inversion. They are more selectively tested with placement of the foot in inversion and plantar flexion. The practitioner attempts to evert and dorsiflex the foot, applying pressure on the medial surface of the foot.</li> </ul>	
	Tibialis posterior Flexor digitorum longus	Tibial, L5, S1		
	Flexor hallucis longus	Tibial, L5, S1, S2		
Eversion	Extensor digitorum longus	Deep peroneal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The extensor digitorum longus is tested in the position of eversion and dorsiflexion.</li> <li>• The practitioner attempts to invert and plantar flex the foot, applying pressure over the lateral surface of the foot.</li> <li>• The peroneus longus and brevis produce plantar flexion and eversion. They are more selectively tested with the foot everted and plantar flexed. The practitioner attempts to invert and dorsiflex the foot, applying pressure over the lateral surface of the foot.</li> </ul>	
	Peroneus longus Peroneus brevis	Superficial peroneal, L4, L5, S1		
First digit extension	Extensor hallucis longus	Deep peroneal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The first toe is placed in full extension.</li> <li>• The practitioner attempts to flex the toe, applying pressure over the dorsum of the first toe.</li> </ul>	
Second to fifth digit extension	Extensor digitorum longus	Deep peroneal, L4, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The second and fifth toes are fully extended.</li> <li>• The practitioner attempts to flex them, applying pressure over the dorsum of the toes.</li> </ul>	
	Extensor digitorum brevis	Deep peroneal, L5, S1		

Lower Limb Chart	Muscle(s)*	Nerve, Roots	Testing	Figure
First digit flexion	<i>Flexor hallucis longus</i>	Tibial, L5, S1, S2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The first toe is placed in full flexion.</li> <li>• The practitioner attempts to extend the toe, applying pressure over the plantar surface of the first toe.</li> </ul>	
	<i>Flexor hallucis brevis</i>	Medial plantar, L5, S1		
Second to fifth digit flexion	<i>Flexor digitorum longus</i>	Tibial, L5, S1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The second to fifth toes are placed in full flexion, applying pressure over the plantar surface of the toes.</li> </ul>	
	<i>Flexor digitorum brevis</i>	Medial plantar, L5, S1		

## B. Pemeriksaan AROM (active range of motion) dan PROM (passive range of motion).

### 1. ROM Aktif

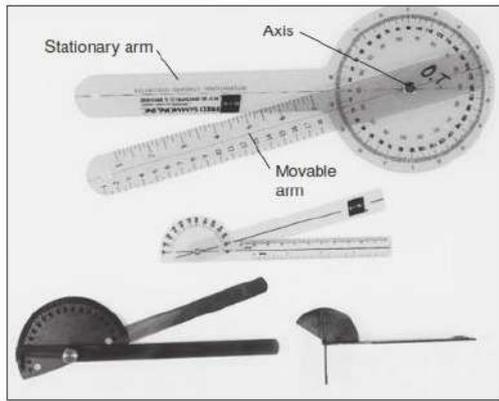
ROM Aktif yaitu gerakan yang dilakukan oleh seseorang (pasien) dengan menggunakan energi sendiri. Perawat memberikan motivasi, dan membimbing klien dalam melaksanakan pergerakan sendiri secara mandiri sesuai dengan rentang gerak sendi normal (klien aktif) <sup>(2)</sup>.

### 2. ROM Pasif

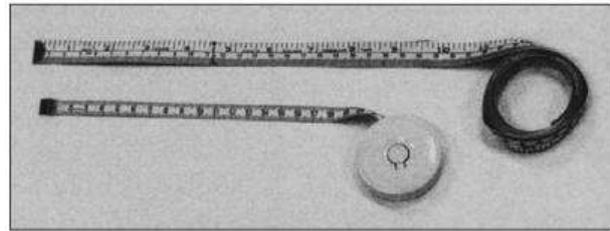
ROM Pasif yaitu energi yang dikeluarkan untuk latihan berasal dari orang lain (perawat) atau alat mekanik. Perawat melakukan gerakan persendian klien sesuai dengan rentang gerak yang normal (klien pasif) <sup>(2)</sup>.

Alat yang digunakan adalah :

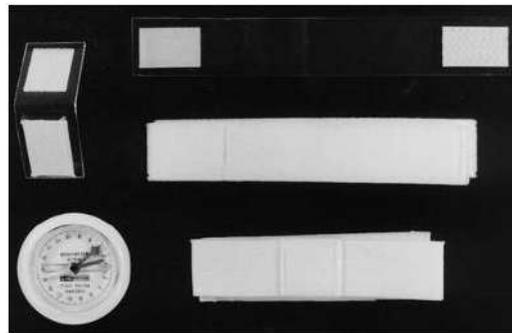
1. Goniometer yaitu alat pengukur jangkauan gerak sudut pada sendi atau Range of Motion (ROM).
2. Tape measure (meteran)
3. OB "Myrin" goniometer/ iclinometer merupakan alat goniometer berupa kompas untuk mengukur sudut ROM pada sendi yang ditunjuk biasanya untuk mengukur ROM sendi lengan, hip joint, lutut, dan ankle joint.
4. Cervical range of motion (CROM) instrument untuk mengukur AROM pada spinal <sup>(2)</sup>.



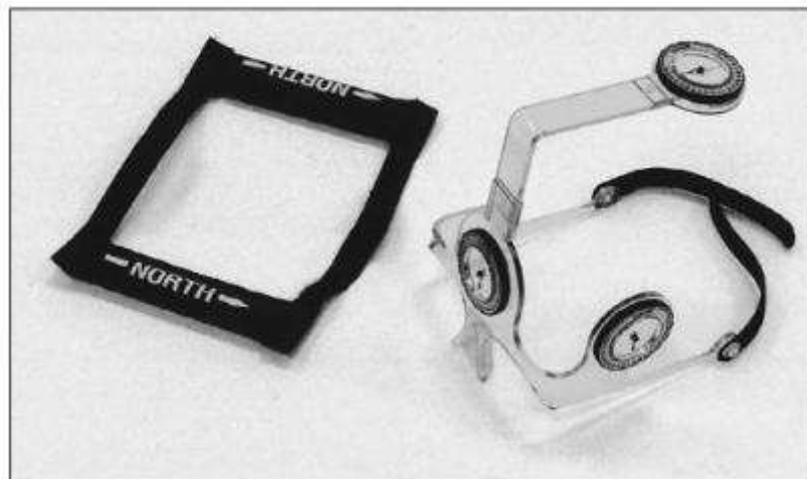
A



B



(C)



(D)

Gambar 8.1. A. Goniometer. B. *Tape measure*. C. OB goniometer beserta *Velcro straps* dan *plastic extension plates*. D. CROM instrument dan *magnetic yoke*<sup>(2)</sup>

## Gerakan ROM Berdasarkan Bagian Tubuh

Menurut Potter (2005), ROM terdiri dari gerakan pada persendian sebagai berikut<sup>(3)</sup> :

### 1. Leher, Spina, Servikal

Gerakan	Penjelasan	Rentang
Fleksi	Menggerakkan dagu menempel ke dada,	rentang 45°
Ekstensi	Mengembalikan kepala ke posisi tegak,	rentang 45°
Hiperektensi	Menekuk kepala ke belakang sejauh mungkin,	rentang 40-45°
Fleksi lateral	Memiringkan kepala sejauh mungkin sejauh mungkin kearah setiap bahu,	rentang 40-45°
Rotasi	Memutar kepala sejauh mungkin dalam gerakan sirkuler,	rentang 180°

### 2. Bahu

Gerakan	Penjelasan	Rentang
Fleksi	Menaikan lengan dari posisi di samping tubuh ke depan ke posisi di atas kepala,	rentang 180°
Ekstensi	Mengembalikan lengan ke posisi di samping tubuh,	rentang 180°
Hiperektensi	Mengerkan lengan kebelakang tubuh, siku tetap lurus,	rentang 45-60°
Abduksi	Menaikan lengan ke posisi samping di atas kepala dengan telapak tangan jauh dari kepala,	rentang 180°
Adduksi	Menurunkan lengan ke samping dan menyilang tubuh sejauh mungkin,	rentang 320°
Rotasi dalam	Dengan siku fleksi, memutar bahu dengan menggerakkan lengan sampai ibu jari menghadap ke dalam dan ke belakang,	rentang 90°
Rotasi luar	Dengan siku fleksi, menggerakkan lengan sampai ibu jari ke atas dan samping kepala,	rentang 90°
Sirkumduksi	Menggerakkan lengan dengan lingkaran penuh,	rentang 360°

3. Siku

<b>Gerakan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Rentang</b>
Fleksi	Menggerakkan siku sehingga lengan bahu bergerak ke depan sendi bahu dan tangan sejajar bahu,	rentang 150°
Ektensi	Meluruskan siku dengan menurunkan tangan,	rentang 150°

4. Lengan bawah

<b>Gerakan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Rentang</b>
Supinasi	Memutar lengan bawah dan tangan sehingga telapak tangan menghadap ke atas,	rentang 70-90°
Pronasi	Memutar lengan bawah sehingga telapak tangan menghadap ke bawah,	rentang 70-90°

5. Pergelangan tangan

<b>Gerakan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Rentang</b>
Fleksi	Menggerakkan telapak tangan ke sisi bagian dalam lengan bawah,	rentang 80-90°
Ekstensi	Mengerakkan jari-jari tangan sehingga jari-jari, tangan, lengan bawah berada dalam arah yang sama,	rentang 80-90°
Hiperekstensi	Membawa permukaan tangan dorsal ke belakang sejauh mungkin,	rentang 89-90°
Abduksi	Menekuk pergelangan tangan miring ke ibu jari,	rentang 30°
Adduksi	Menekuk pergelangan tangan miring ke arah lima jari,	rentang 30-50°

6. Jari- jari tangan

<b>Gerakan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Rentang</b>
Fleksi	Membuat genggaman,	rentang 90°
Ekstensi	Meluruskan jari-jari tangan,	rentang 90°
Hiperekstensi	Menggerakkan jari-jari tangan ke belakang sejauh mungkin,	rentang 30-60°
Abduksi	Meregangkan jari-jari tangan yang satu dengan yang lain,	rentang 30°
Adduksi	Merapatkan kembali jari-jari tangan,	rentang 30°

7. Ibu jari

<b>Gerakan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Rentang</b>
Fleksi	Mengerakan ibu jari menyilang permukaan telapak tangan,	rentang 90°
Ekstensi	menggerakkan ibu jari lurus menjauh dari tangan,	rentang 90°
Abduksi	Menjauhkan ibu jari ke samping,	rentang 30°
Adduksi	Mengerakan ibu jari ke depan tangan,	rentang 30°
Oposisi	Menyentuhkan ibu jari ke setiap jari-jari tangan pada tangan yang sama.	-

8. Pinggul

<b>Gerakan</b>	<b>Penjelasan</b>	<b>Rentang</b>
Fleksi	Mengerakan tungkai ke depan dan atas,	rentang 90-120°
Ekstensi	Menggerakkan kembali ke samping tungkai yang lain,	rentang 90-120°
Hiperekstensi	Mengerakan tungkai ke belakang tubuh,	rentang 30-50°
Abduksi	Menggerakkan tungkai ke samping menjauhi tubuh,	rentang 30-50°
Adduksi	Mengerakan tungkai kembali ke posisi media	rentang 30-50°

	dan melebihi jika mungkin,	
Rotasi dalam	Memutar kaki dan tungkai ke arah tungkai lain,	rentang 90°
Rotasi luar	Memutar kaki dan tungkai menjauhi tungkai lain,	rentang 90°
Sirkumduksi	Menggerakkan tungkai melingkar	-

9. Lutut

Gerakan	Penjelasan	Rentang
Fleksi	Mengerakan tumit ke arah belakang paha,	rentang 120-130°
Ekstensi	Mengembalikan tungkai kelantai,	rentang 120-130°

10. Mata kaki

Gerakan	Penjelasan	Rentang
Dorsifleksi	Menggerakkan kaki sehingga jari-jari kaki menekuk ke atas,	rentang 20-30°
Plantarfleksi	Menggerakkan kaki sehingga jari-jari kaki menekuk ke bawah,	rentang 45-50°

11. Kaki

Gerakan	Penjelasan	Rentang
Inversi	Memutar telapak kaki ke samping dalam,	rentang 10°
Eversi	Memutar telapak kaki ke samping luar,	rentang 10°

12. Jari-Jari Kaki

Gerakan	Penjelasan	Rentang
Fleksi	Menekukkan jari-jari kaki ke bawah,	rentang 30-60°
Ekstensi	Meluruskan jari-jari kaki,	rentang 30-60°
Abduksi	Menggerakkan jari-jari kaki satu dengan yang lain,	rentang 15°
Adduksi	Merapatkan kembali bersama-sama,	rentang 15°

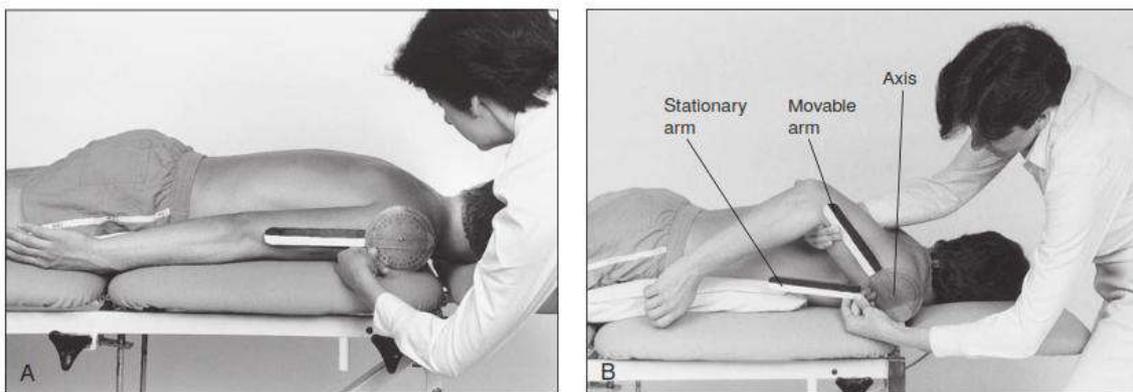
### Validitas dan reabilitas goniometer:

Validitas mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu alat ukur dalam melakukan fungsi ukurnya. Suatu skala atau instrumen pengukur dapat dikatakan mempunyai validitas yang tinggi apabila instrumen tersebut menjalankan fungsi ukurnya, atau memberikan hasil ukur yang sesuai dengan maksud dilakukannya pengukuran tersebut. Sedangkan tes yang memiliki validitas rendah akan menghasilkan data yang tidak relevan dengan tujuan pengukuran. Validitas mengindikasikan seberapa akurat alat ukur tersebut.

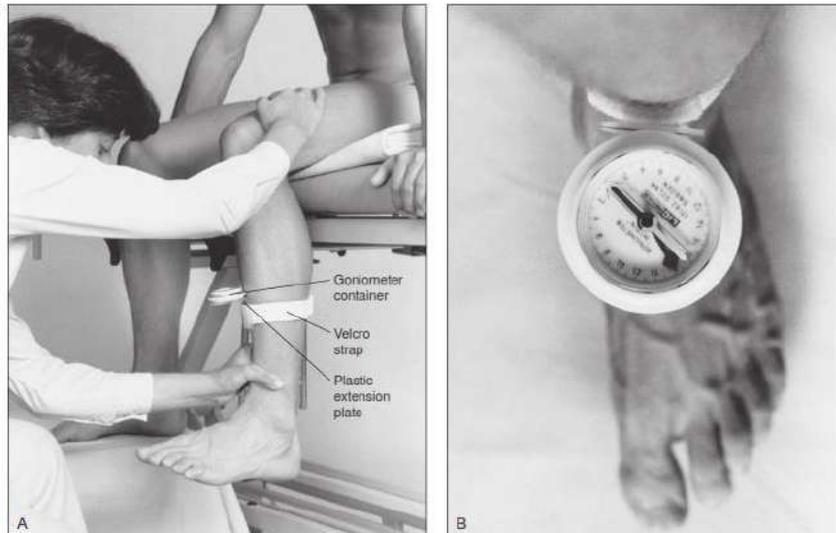
Reliabilitas, atau keandalan, adalah konsistensi dari serangkaian pengukuran atau serangkaian alat ukur. Hal tersebut bisa berupa pengukuran dari alat ukur yang sama (tes dengan tes ulang) akan memberikan hasil yang sama, atau untuk pengukuran yang lebih subjektif, apakah dua orang penilai memberikan skor yang mirip (reliabilitas antar penilai).

Pemeriksaan menggunakan foto rontgen menambah tingkat akurasi pemeriksaan. Penelitian mengenai reliabilitas goniometer adalah sebagai berikut :

1. Goniometer memiliki reliabilitas yang tinggi pada pemeriksa yang belum berpengalaman.
2. Reliabilitas goniometer bervariasi tergantung pada sendi dan gerakan yang diperiksa.
3. Intratester memiliki reliabilitas lebih tinggi daripada intertester.
4. Besarnya ukuran goniometer yang digunakan tidak mempengaruhi hasil pemeriksaan.
5. Pemeriksaan goniometer pada kasus spastisitas tidak dapat disimpulkan<sup>(2)</sup>.



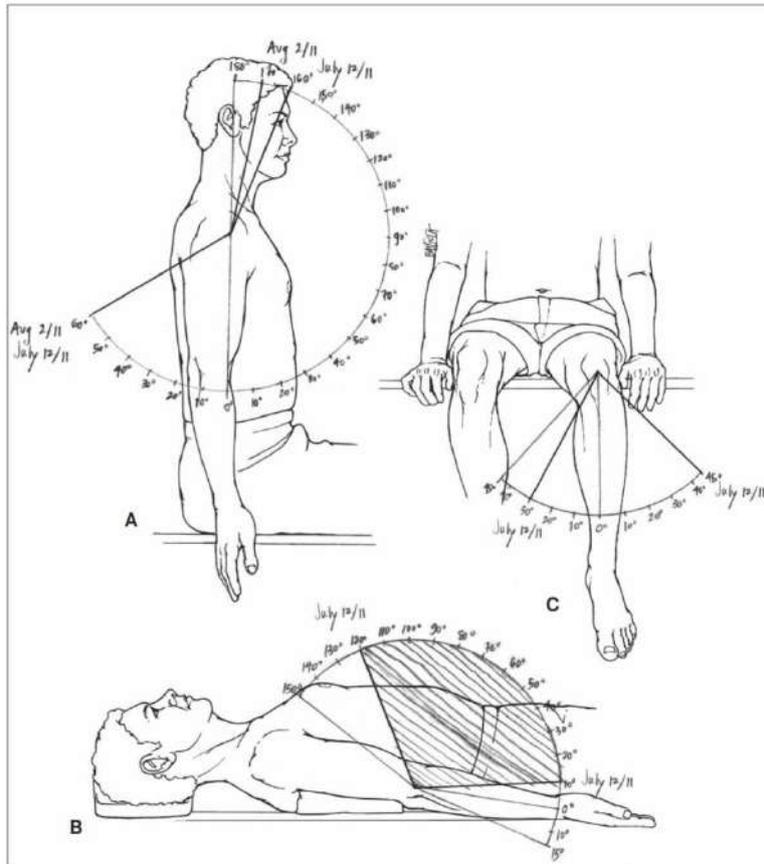
Gambar 8.2. A. Pengukuran start position PROM menggunakan goniometer dan B. end position PROM<sup>(2)</sup>



Gambar 8.3. A. Pengukuran OB goniometer endorotasi tibia pada start position dan B. end position<sup>(2)</sup>

Left Side			Date of Measurement			Right Side		
*	Def P/21	*				*	Def P/21	*
<b>Shoulder Complex</b>								
0-180°			Elevation through flexion	(0-180°)		* 0-180°		
N			Elevation through abduction	(0-180°)		N		
<b>Shoulder Glenohumeral Joint</b>								
			Extension	(0-60°)				
			Horizontal abduction	(0-45°)				
			Horizontal adduction	(0-135°)				
			Internal rotation	(0-70°)				
		↓	External rotation	(0-90°)				↓
Hypermobility:								
Comments: end feel: (R) shoulder flexion firm								
<b>Elbow and Forearm</b>								
0-150°			Flexion	(0-150°)		* 0-120°		
N			Supination	(0-80°)		N		
		↓	Pronation	(0-80°)				↓
Hypermobility: (L) elbow hyperextension 5°								
Comments: end feel: (R) elbow extension firm; flexion firm								
<b>Knee</b>								
0-135°			Flexion	(0-135°)		* 0-75°		
NT			Tibial rotation			NT		
Hypermobility:								
Comments: end feel: (R) knee flexion firm								

Gambar 8.4. Metode pencatatan menggunakan *numeric recording form*<sup>(2)</sup>

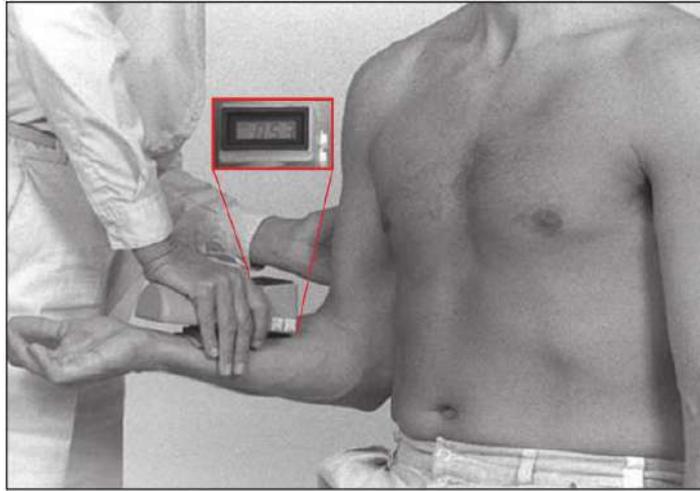


Gambar 8.5. Metode pencatatan *pictorial recording form*<sup>(2)</sup>

### C. Pengukuran kekuatan otot menggunakan alat.

#### 1. Hand-held dynamometer

*Hand-held dynamometer* untuk mengukur kekuatan otot dalam kondisi kontraksi isometrik. Pengukuran dengan hand-held dynamometer dapat dilakukan melalui 2 macam cara yaitu: cara *make-test* dan *break-test*. *Make-test* dilakukan dengan cara pemeriksa memegang dynamometer pada posisi yang tetap dan subyek menggerakkan anggota gerak melawan dynamometer. Sedangkan *break-test* dilakukan dengan cara pemeriksa menekan dynamometer diatas anggota gerak subyek, sambil subyek melawan alat hingga melampaui kekuatan maksimal dan subyek menyerah. dimana diketahui maketest memiliki reliabilitas yang lebih tinggi<sup>(2)</sup>.

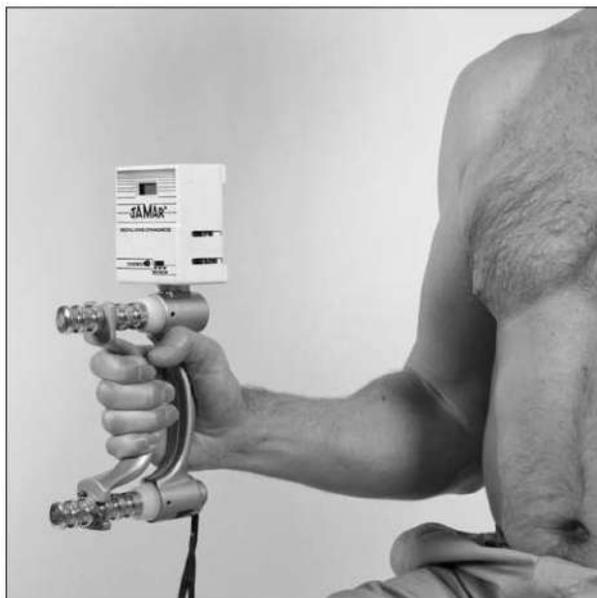


Gambar 8.6. Hand-held dynamometer<sup>(2)</sup>

## 2. Hand grip dynamometer

*Hand grip dynamometer* untuk mengetahui kekuatan otot peras tangan. Satuan dari alat ini adalah Kilogram (Kg). Norma penilaian dan klasifikasi kekuatan peras otot tangan kanan pria dan wanita<sup>(2)</sup>:

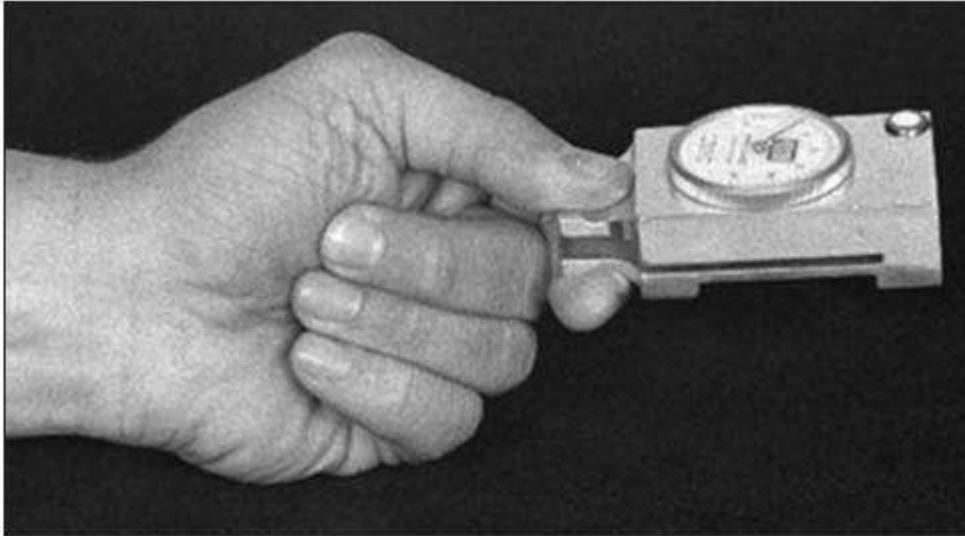
<i>Kategori</i>	<i>Prestasi pria (kg)</i>	<i>Prestasi Wanita (kg)</i>
Baik sekali	55.50 – keatas	42.50 – keatas
Bagus	46.50 – 55.00	32.50 – 41.00
Sedang	36.50 – 46.00	24.50 – 32.00
Cukup	27.50 – 36.00	18.50 – 24.00
Kurang	SD – 27.00	SD – 18.00



Gambar 8.7. *Hand grip dynamometer*<sup>(2)</sup>

### 3. Pinchmeter

Pinchmeter adalah alat untuk menguji kekuatan otot-otot tip pinch, lateral pinch dan three-jaw chuck<sup>(2)</sup>.



Gambar 8.8. Pemeriksaan *lateral pinch*<sup>(2)</sup>



Gambar 8.9. Pemeriksaan *tip pinch*<sup>(2)</sup>



Gambar 8.10. Pemeriksaan *Three Jaw Chuck*<sup>(2)</sup>

#### 4. NK-TABLE

NK-table merupakan alat untuk penilaian kekuatan otot quadrisept dan hamstring dengan hasil akhir satuan kilogram<sup>(1)</sup>.



Gambar 8.11. *NK-Table*<sup>(1)</sup>

#### 5. EN-TREE

EN-TREE merupakan alat untuk penilaian kekuatan sekelompok otot secara dinamik dengan hasil akhir satuan kilogram.

Berat beban : 4kg

Waktu : 30 second

Jumlah set : 3 set dengan istirahat diantaranya

Precaution : Pemeriksaan pada pasien usia lanjut<sup>(1)</sup>.



Gambar 8.12. *EN-Tree*<sup>(1)</sup>

## 6. CYBEX

Cybex merupakan alat untuk penilaian kekuatan otot individual secara isometrik dan isokinetik dengan hasil akhir satuan torque<sup>(1)</sup>.

### UPPER BODY



Gambar 8.13. *Chest press* (kiri) dan *Incline press* (kanan)<sup>(1)</sup>

### TRUNK DAN TORSO



Gambar 8.14. *Abdominal* (kiri), *back extension* (tengah) dan *torso rotation* (kanan)<sup>(1)</sup>

### LOWER BODY



Gambar 8.15. *Leg Press* (kiri), *Leg Extension* (tengah), dan *Glute* (kanan)<sup>(1)</sup>

## VIII.1.2. Pemeriksaan Khusus pada Anak

### A. *Antigravity extension*

#### Deskripsi:

Selama tes ini, anak diminta untuk secara bersamaan mengangkat kepala, bagian tubuh atas, lengan, dan tungkai bawah dari posisi tengkurap, sementara lutut dan siku berada dalam keadaan ekstensi selama mungkin.

#### Tujuan:

Untuk mengamati kemampuan anak untuk mempertahankan posisi ekstensi penuh. Posisi ini berhubungan dengan fungsi vestibular.

#### Alat-Alat:

Stopwatch dan formulir isian observasi klinis.

#### 1). Aspek kuantitatif

##### Instruksi:

- Lakukan seluruh aspek dalam tes ini dan motivasi anak untuk berpartisipasi secara aktif.
- Arahkan anak untuk melakukan posisi yang diminta dan menahannya sebisa mungkin, anda bisa menginstruksikan anak untuk menirukan posisi “pesawat terbang” atau “superman”.
- Catat jika anak dapat melakukan posisi tersebut secara mandiri.
- Jika anak membutuhkan bantuan untuk melakukan posisi itu, nilai awal percobaan adalah “0”.
- Catat waktu dalam detik, penghitungan dimulai langsung sesaat setelah anak berada pada posisi tersebut dan hentikan penghitungan sesaat setelah paha, badan atas atau ekstremitas menyentuh lantai.
- Selama tes, anak dimotivasi untuk mempertahankan posisi tersebut selama dia mampu (berikan pengingat waktu, dll).
- Hentikan penghitungan waktu bila nilai maksimal telah dicapai (30 detik).
- Tes tidak perlu diulang bila nilai maksimal telah dicapai pada saat tes pertama kali.

Penilaian: Catat waktu dalam detik

Nama	WAKTU DALAM DETIK (I)	WAKTU DALAM DETIK (II)	TOTAL
Ekstensi dalam posisi tengkurap			
Jumping Jacks (II)			

2). Aspek kualitatif

Instruksi:

observasi dan catat adanya parameter berikut (area abu-abu mengindikasikan parameter yang diharapkan / khas):

PARAMATER	YA	TIDAK
Mengangkat ekstremitas atas dan bawah secara serentak		
Kepala berada di tengah		
Tubuh bagian atas tidak menyentuh permukaan lantai		
Panggul dan lutut dalam posisi ekstensi		
Paha tidak menyentuh permukaan lantai		
Melakukan dengan mudah		
Melakukan tes pertama secara mandiri		

B. *Antigravity flexion*

Deskripsi:

Pada tes ini, anak diminta untuk melengkungkan tubuh pada posisi berbaling terlentang dan mempertahankan posisi ini selama mungkin.

Tujuan:

Untuk menilai aspek dari proses somatosensori dan kemampuan praksis anak.

Alat-Alat:

Stopwatch dan formulir isian observasi klinis

1). Aspek kuantitatif

Instruksi:

- Lakukan seluruh aspek dalam tes ini dan motivasi anak untuk berpartisipasi secara aktif
- Arahkan anak untuk melakukan posisi itu dan menahannya sebisa mungkin, anda bisa menginstruksikan anak tersebut untuk berpura-pura menjadi “sebutir telur”.
- Catat jika anak dapat melakukan posisi tersebut secara mandiri.
- Jika anak membutuhkan bantuan untuk melakukan posisi itu, nilai awal percobaan adalah “0”.
- Catat waktu dalam detik, penghitungan dimulai langsung sesaat setelah anak berada pada posisi tersebut dan hentikan penghitungan sesaat setelah kepala, bahu, atau kaki menyentuh lantai.

- Selama tes, anak dimotivasi untuk mempertahankan posisi tersebut selama dia mampu (berikan pengingat waktu, dll).
- Hentikan penghitungan waktu bila nilai maksimal telah dicapai (60 detik).
- Tes tidak perlu diulang bila nilai maksimal telah dicapai pada saat tes pertama kali<sup>(2)</sup>.

Penilaian: Catat waktu dalam detik

NAMA	WAKTU DALAM DETIK (I)	WAKTU DALAM DETIK (II)	TOTAL
Supine flexion			

## 2). Aspek kualitatif

Instruksi: observasi dan catat adanya parameter berikut (area abu-abu mengindikasikan parameter yang diharapkan / khas)<sup>(2)</sup>:

PARAMATER	YA	TIDAK
Mengangkat ekstremitas atas dan bawah secara serentak		
Kepala berada di tengah dan dagu menempel pada dada		
Bahu tidak menyentuh lantai		
Flexi panggul dan lutut		
Tangan bebas, tidak dalam posisi menahan		
Melakukan dengan mudah		
Melakukan posisi secara mandiri		
Total		

## VIII.2. Elektromiografi

### VIII.2.1. Definisi

Elektromiografi (EMG) adalah teknik untuk memeriksa dan merekam aktivitas sinyal otot. EMG dilakukan dengan instrumen bernama elektromiograf, untuk menghasilkan rekaman bernama elektromiogram. Elektromiograf digunakan untuk mendeteksi potensi listrik yang dihasilkan oleh sel otot ketika otot ini aktif dan ketika sedang beristirahat<sup>(4)</sup>.

Elektromiografi dalam arti sempit adalah suatu metode pemeriksaan yang mempelajari dan mencatat aktivitas listrik otot yang disebabkan insersi jarum EMG, aktivitas spontan dan aktivitas listrik otot volunter. Dalam arti yang lain, EMG klinis adalah semua studi elektrodagnostik dari saraf perifer dan otot<sup>(5)</sup>.

Elektromiografi digunakan secara klinis untuk diagnosis neurologis dan neuromuskular. Hal ini dapat membedakan miopati dari neurogenik yang berupa pengecilan otot atau kelemahan. EMG dapat menentukan kelainan seperti denervasi kronis atau fasikulasi pada otot normal secara klinis. EMG dapat membedakan kondisi otot, kelemahan otot yang disebabkan oleh gangguan otot dan kelemahan otot yang disebabkan oleh kelainan saraf. EMG juga dapat digunakan untuk memisahkan tingkat iritasi dan kerusakan saraf. EMG digunakan sebagai alat diagnostik untuk mengidentifikasi penyakit neuromuskular, menilai nyeri punggung bawah, kinesiologi, dan gangguan kontrol motor<sup>(4)</sup>.

## **VIII.2.2. Dasar Pemeriksaan EMG**

### **A. Tujuan Pemeriksaan EMG**

1. Membantu membedakan antara gangguan otot primer seperti distrofi otot dan gangguan sekunder.
2. Membantu menentukan penyakit degeneratif saraf sentral kerusakan saraf atau cedera saraf.
3. Membantu mendiagnosa gangguan neuromuskular seperti myastenia grafis<sup>(6)</sup>.

### **B. Persiapan Pasien**

1. Menginformasikan kepada pasien bahwa seluruh pemeriksaan prosedur ini akan menyebabkan gangguan rasa nyaman sementara. Khususnya bila pasien sendiri diberi rangsangan listrik.
2. Pastikan bahwa pasien tidak menggunakan obat-obat depresan atau sedatif 24 jam sebelum prosedur.
3. Cegah terjadinya syok listrik.
4. Mengurangi rasa sakit dan rasa takut<sup>(6)</sup>.

### **C. Cara Kerja**

Saraf perifer mengirimkan impuls listrik dan dapat dianggap sebagai kabel yang sangat efisien. Untuk studi konduksi saraf, stimulator non invasive, berlaku hantaran impuls listrik singkat ke saraf tepi trunkuteneus. Saraf kemudian mengirimkan impuls dan respon dicatat oleh elektroda. Waktu yang diperlukan untuk stimulus untuk mencapai elektroda rekaman (latency) dapat diukur secara akurat dan kecepatan transmisi dihitung. Baik motor dan saraf sensorik dapat diperiksa. Perlu diketahui dalam EMG, saraf yang sehat akan mengirimkan impuls listrik lebih cepat dari yang sakit.

Jarum EMG tidak mengalirkan stimulasi listrik, melainkan mencatat aktivitas listrik intrinsik dari serat otot rangka. Jarum cukup tipis (sekitar 25 gauge) dan menghasilkan ketidaknyamanan kecil dimana kebanyakan pasien dapat mentolerirnya. Jarum EMG sugestif dari denervasi termasuk temuan fibrilasi, gelombang positif yang tajam, raksasa potensi unit motor (MUP)<sup>(6)</sup>.

#### D. Prosedur Tindakan

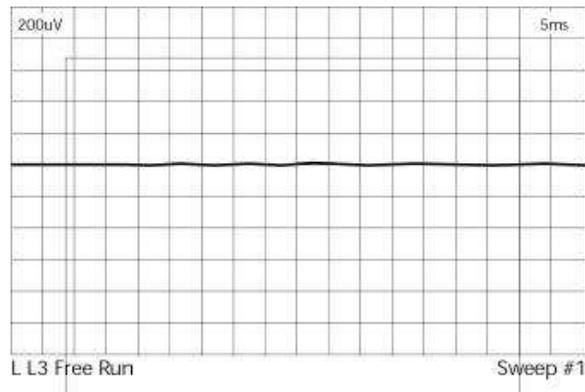
Prosedur tindakan EMG menurut PERDOSSI (2006) :

1. Prosedur dapat dilakukan disamping tempat tidur atau diruang tindakan khusus.
2. Elektroda ditempatkan pada syaraf-syaraf yang akan diperiksa.
3. Dimulai dengan dosis kecil rangsangan listrik melalui elektroda ke saraf dan otot, apabila konduksi pada saraf selesai maka otot akan segera berkontraksi.
4. Untuk mengetahui potensial otot digunakan macam-macam jarum elektroda dari nomor 1,3 – 7,7 cm.
5. Pasien mungkin dianjurkan untuk melakukan aktifitas untuk mengukur potensial otot selama kontraksi minimal dan maksimal
6. Derajat aktifitas saraf dan otot direkam pada osiloskop dan akan memberikan gambaran grafik yang dapat dibaca.
7. Perawat berusaha memberikan rasa nyaman dan memantau daerah penusukan terhadap kemungkinan terjadinya hematoma<sup>(7)</sup>.

#### E. Tahap Pemeriksaan

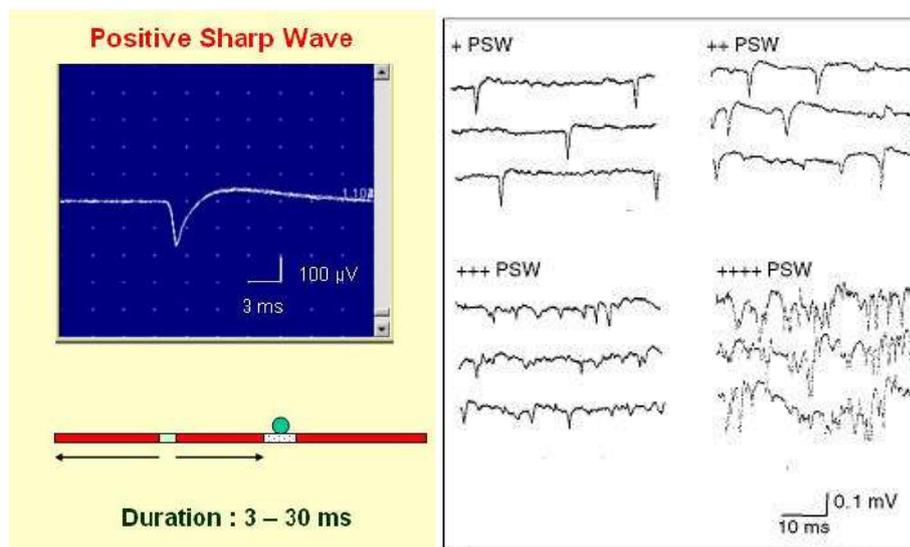
Ada beberapa tahap pemeriksaan yang harus dikerjakan pada EMG jarum, yaitu<sup>(6)</sup>:

1. Dalam keadaan istirahat
  - a. Kalibrasi diatur 20  $\mu\text{V}/\text{cm}$  dan sweep speed pada 5 – 10 mdet/cm.
  - b. Jarum ditusukkan menembus kulit dengan cepat.
  - c. Otot harus benar-benar dalam keadaan relaks. Apabila penderita tegang atau nyeri, relaksasi dapat dikerjakan dengan cara:
    - Memberikan ganjal pada anggota gerak atau manipulasi pasif dari anggota gerak.
    - Kontraksi otot antagonis.
    - Mengalihkan perhatian dengan mengajak bicara.
    - Menenteramkan pasien.
  - d. Pada keadaan normal, waktu istirahat tidak memperlihatkan aktivitas listrik (*electrical silence*).



Gambar 8.16. Gambaran EMG normal dalam keadaan istirahat (*electrical silence*)<sup>(6)</sup>

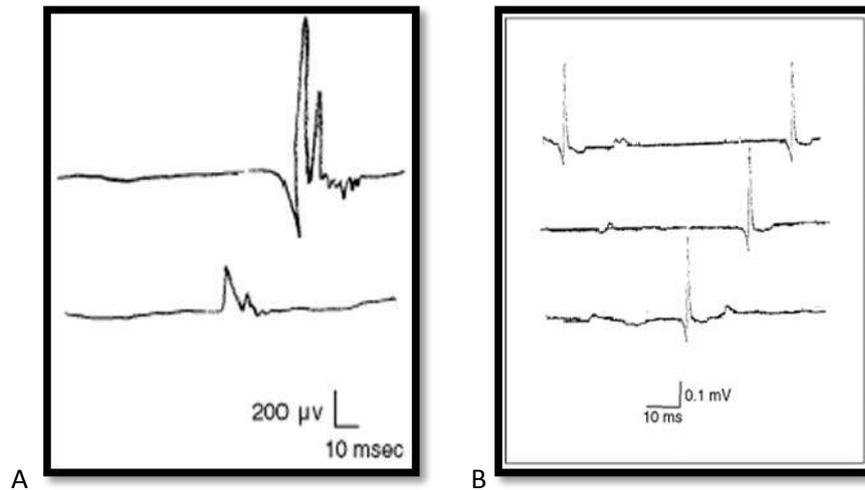
- e. Pada gangguan saraf/otot, timbul potensial patologik berupa aktivitas spontan berbentuk *sharp wave* positif atau fibrilasi.



Gambar 8.17. Gambaran EMG *sharp wave* positif<sup>(6)</sup>

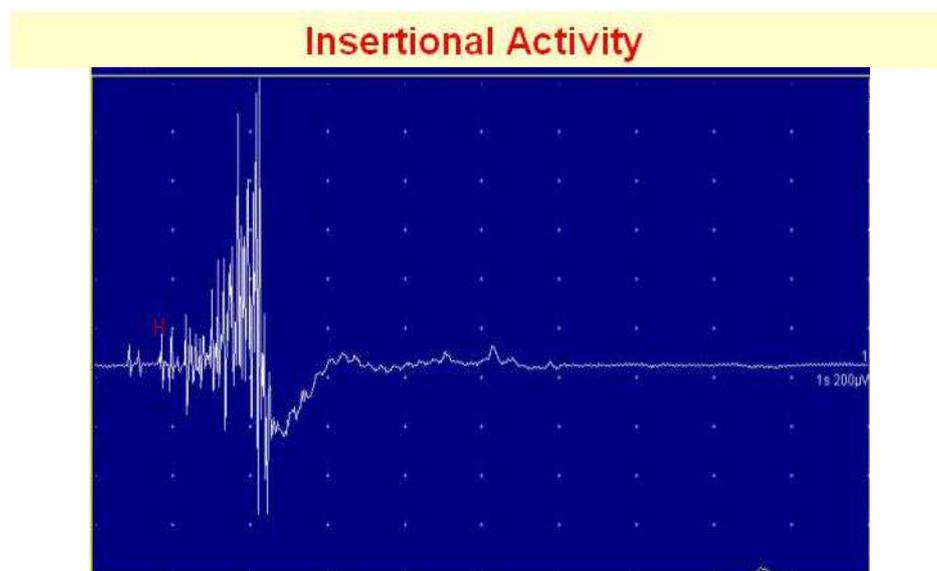
## 2. Aktivitas insersional

- Kalibrasi diatur 50 – 100 µV/cm dan sweep speed 5 – 10 mdet/cm.
- Aktivitas insersional ditimbulkan dengan menggerakkan elektroda jarum secara cepat pada otot. Hal ini akan menimbulkan letupan dari membran sel otot yang diaktifkan secara mekanik dengan gerakan jarum.
- Pada keadaan normal, akan terlihat potensial listrik yang cepat yang segera berhenti sewaktu jarum dihentikan.
- Pada keadaan abnormal, aktivitas insersional dapat meningkat atau menurun. Dapat pula terjadi fibrilasi, fasikulasi dan gelombang *bizarre*.



Gambar 8.18. Gambaran EMG: A. Fasikulasi dan B. Fibrilasi<sup>(6)</sup>

- e. Sekitar dua puluh insersi pada tiga lokasi yang berbeda harus diselesaikan pada otot tersebut (posisi proksimal, sentral dan distal) sebelum berpindah ke otot yang lain.



Gambar 8.19. Gambaran EMG *Insertional activity*<sup>(6)</sup>

### 3. Kontraksi minimal

- Kalibrasi 100 – 200  $\mu\text{V}/\text{cm}$  dan sweep speed 5 – 10 mdet/cm.
- Penderita diminta menggerakkan/ kontraksi ringan otot yang diperiksa.
- Perhatikan setiap potensial aksi otot yang nampak pada monitor (bentuk, amplitude, durasi dan frekuensi potensial).
- Pada keadaan normal akan tampak potensial bifasik/trifasik.

- e. Pada keadaan abnormal terjadi potensial polifasik.
- f. Pada kontraksi minimal sampai sedang, garis dasar (*baseline*) tetap nyata.

#### 4. Kontraksi maksimal

- a. Kalibrasi 500 – 1000  $\mu\text{V}/\text{cm}$  dan sweep speed 10 mdet/cm.
- b. Penderita diminta mengerakkan otot secara maksimal dengan memberikan tekanan yang berlawanan. Langkah-langkah adalah sebagai berikut:
  - Tarik jarum ke subkutan sebelum menyuruh penderita kontraksi.
  - Masukkan jarum sampai mendapatkan MUAP dengan *rise-time* yang cepat disertai bunyi yang tajam.
  - Suruh penderita membuat gerakan yang hanya mengaktivasi otot yang diperiksa.
- c. Pada orang normal seluruh garis dasar (*baseline*) akan hilang, tertutup oleh potensial yang timbul (*complete interference pattern*). Sebagian besar potensial yang timbul adalah bifasik/trifasik. Polifasik yang timbul kurang dari 10 – 20%.
- d. Pada keadaan abnormal, tampak *incomplete interference pattern* dan terjadi potensial polifasik atau *giant potential*.

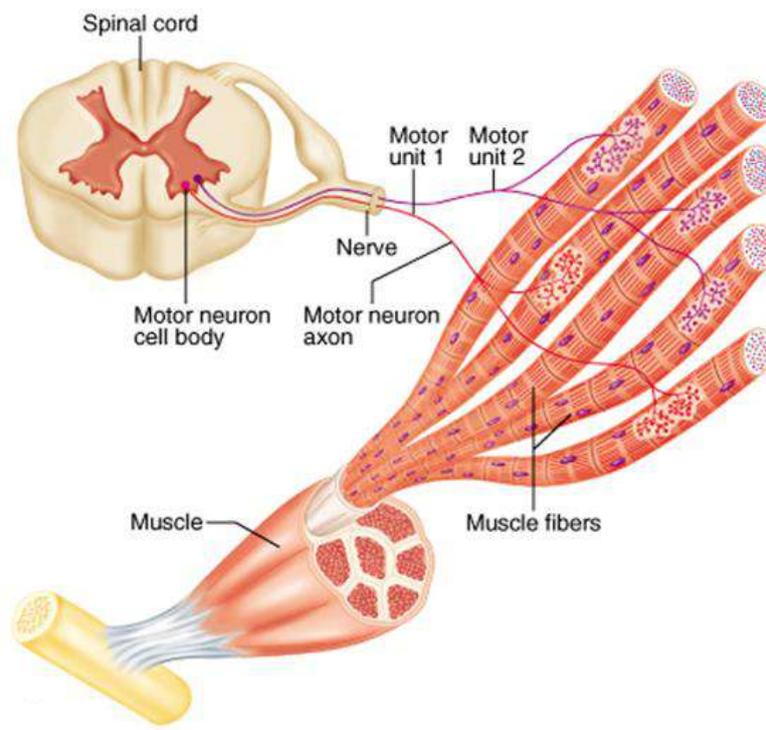
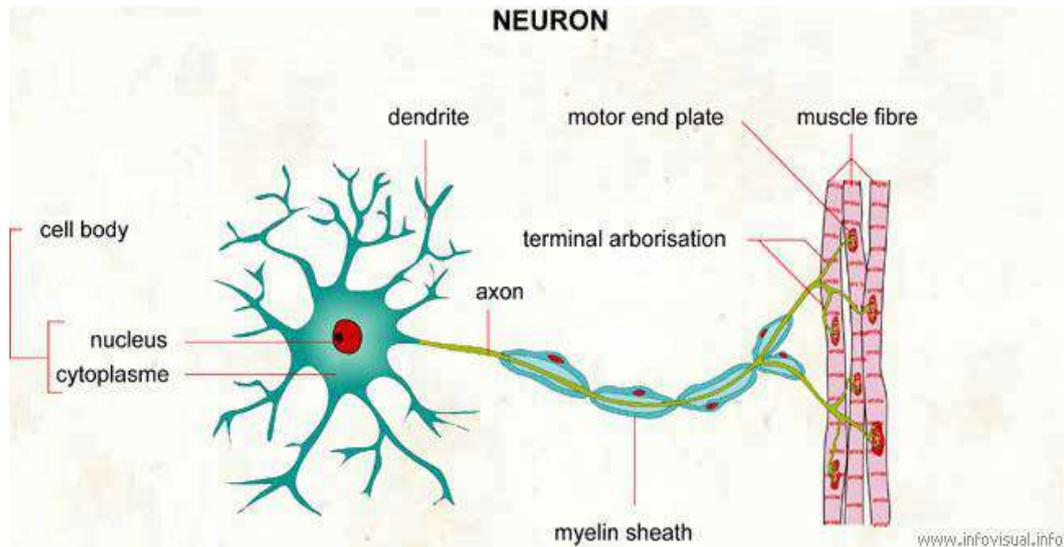
#### 5. Distribusi abnormalitas EMG

- a. Bila didapatkan kelainan pada pemeriksaan, harus ditentukan pola anatomisnya, misalnya otot proksimal untuk miopati, sepanjang ekstremitas untuk radikulopati, tersebar luas untuk penyakit motor neuron dan lain-lain.
- b. Diperiksa juga otot-otot kontralateral bila dijumpai kelainan. Bila pada saat otot dalam keadaan istirahat didapatkan aktivitas spontan dalam bentuk positif *sharp wave* dan/ atau fibrilasi, maka hal tersebut menunjukkan telah terjadi kerusakan dinding sel otot karena lepasnya otot tersebut dari persarafannya, maupun kerusakan primer dari dinding otot itu sendiri. Aktivitas spontan akan muncul pada lesi motor neuron, akson dan otot.

### VIII.2.3. Analisa Hasil EMG

#### A. Analisa Aktivitas Spontan

Satu motor unit adalah satu akson beserta seluruh serabut otot yang disarafinya, yang terdiri dari motor neuron, radiks saraf, saraf perifer dan serabut otot. Setiap lokasi lesi pada satu motor unit akan memberikan gambaran aktivitas spontan yang berbeda<sup>(8)</sup>.



Gambar 8.20. Innervasi otot<sup>(8)</sup>

Dengan mengenal adanya aktivitas spontan, bertujuan untuk :

1. Menegakkan diagnosis

Timbulnya aktivitas spontan menunjukkan adanya suatu denervasi (gangguan akson) maupun gangguan pada membran otot (miopati)

## 2. Lokasi lesi

Pada radikulopati, aktivitas spontan akan timbul pada seluruh otot dalam satu miotom yang sama. Pada neuropati perifer, aktivitas spontan timbul pada otot yang diinervasi oleh saraf perifer yang sama.

## 3. Prognosis

Aktivitas spontan yang menetap pada lesi kronis menandakan semakin jelek prognosisnya oleh karena tidak ada reinervasi<sup>(8,9)</sup>.

Pada saat kita menusukkan jarum EMG ke dalam otot, akan timbul beberapa potensial baik fisiologis maupun patologis.

Aktivitas spontan fisiologis dapat berupa *end plate noise* dan *end plate spike*. Sedangkan aktivitas spontan patologis dapat terjadi pada tingkat serabut otot (*muscle fiber*) atau pada tingkat motor neuron. Pada tingkat serabut otot dapat berupa gelombang tajam positif, fibrilasi, *complex repetitive discharge* dan *myotonic discharge*. Sedangkan pada tingkat motor neuron dapat berupa fasikulasi, *myokimic discharge* dan *neuromyotonic discharge*<sup>(8)</sup>.

## B. Aktivitas Spontan Fisiologis<sup>(8,9,10)</sup>

### 1. END-PLATE NOISE

Setiap saat di *neuromuscular-junction (NMJ)* akan selalu timbul potensial *end plate* kecil yang terjadi secara spontan akibat lepasnya sejumlah asetilkolin ke dalam NMJ. Potensial *end-plate* di bawah ambang dikenal sebagai *end-plate noise* dengan ciri khas berupa:

- a. Amplitudo rendah
- b. Monofasik, potensial negatif
- c. Timbul secara iregular dengan frekuensi 20 – 40 Hz
- d. Berbunyi secara khas, seperti *sea-shell sounds*

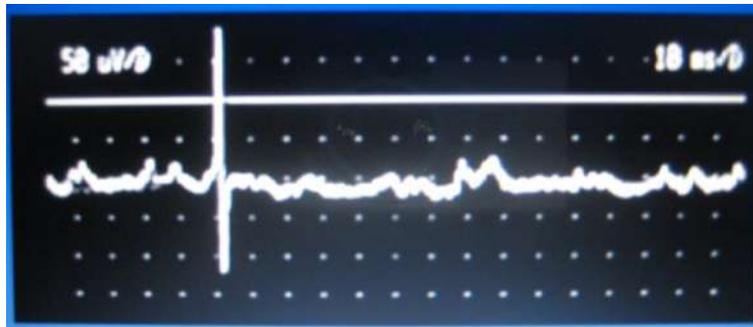


Gambar 8.21. End-plate noise<sup>(8)</sup>

## 2. END-PLATE SPIKE

*End-plate spikes* timbul apabila jarum EMG yang berada di daerah *end-plate* menangkap potensial yang telah mencapai nilai ambang (*muscle fiber action potential*) dengan ciri khas:

- Timbul bersamaan dengan *end-plate spikes*
- Bifasik, dimulai dengan potensial negative. Dapat juga dalam bentuk gelombang positif, apabila jarum terletak jauh dari motor *end-plate*. Perlu dibedakan dengan *positif sharp wave* patologis, dimana pada *positif sharp wave* akan muncul secara regular
- Iregular dengan frekuensi 50 Hz



Gambar 8.22. End plate spikes<sup>(8)</sup>

## C. Aktivitas Spontan Patologis

Aktivitas spontan patologis dapat timbul pada saat jarum EMG ditusukkan ke dalam otot atau dapat dipicu dengan cara menggerakkan jarum, mengetuk otot yang bersangkutan ataupun dengan gerakan otot secara volunter.

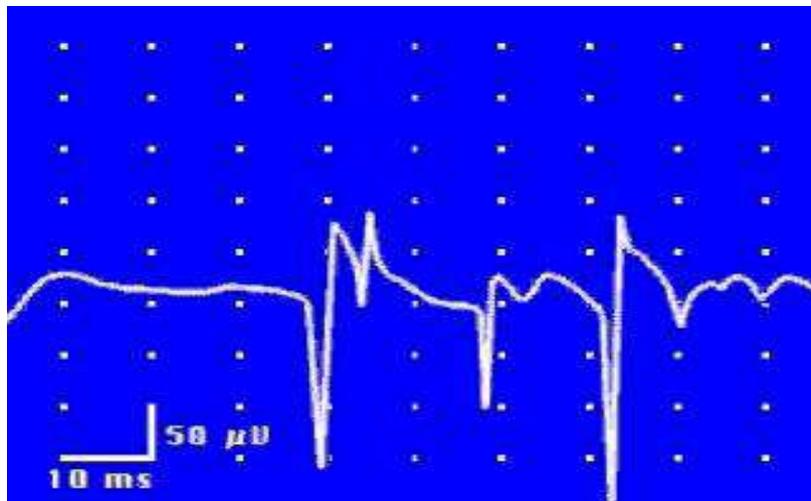
### Tingkat serabut otot (*muscle fibre*)

#### 1. Positive Sharp Wave

- Timbul oleh karena depolarisasi spontan dari serabut otot
- Merupakan tanda denervasi (neuropati, radikulopati, penyakit motor neuron) dan beberapa kasus miopati (miopati oleh karena inflamasi dan jenis distrofi)
- Berupa gambaran gelombang positif yang cepat, diikuti oleh gelombang negatif yang relative panjang
- Amplitudo 10 – 100  $\mu$ V dapat mencapai 3mV
- Regular dengan frekuensi 0,5 – 10/30 mV
- Positive sharp wave* dapat digradasikan dari 0 sampai 4

Tabel 8.2. Gradasi *positive sharp wave*<sup>(8)</sup>

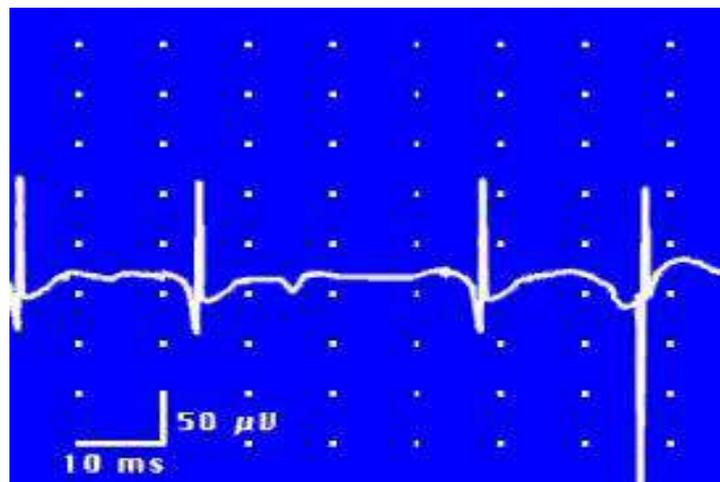
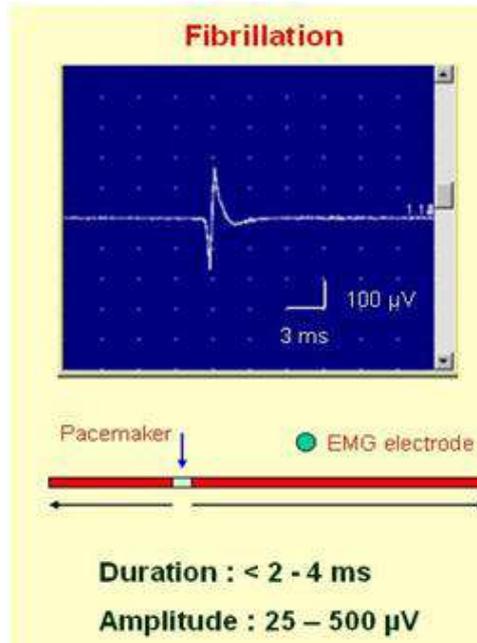
0	Tidak dijumpai adanya <i>positive sharp wave</i>
+1	Didapatkan potensial tunggal yang persisten (lebih dari 2-3 detik) pada min. 2 area
+2	Didapatkan potensial dalam jumlah sedang pada tiga area atau lebih
+3	Didapatkan banyak <i>positive sharp wave</i> pada semua area
+4	Didapatkan potensial dengan bentuk <i>full interference pattern</i>



Gambar 8.23. *Positive sharp wave*<sup>(8)</sup>

## 2. Fibrilasi

- a) Merupakan depolarisasi spontan pada serabut otot yang mengalami denervasi
- b) Berupa gelombang bifasik yang cepat dimulai dengan gelombang positif
- c) Amplitudo 10 – 100  $\mu\text{V}$ . Pada keadaan denervasi kronis, amplitude dapat menyusut sampai kurang dari 10  $\mu\text{V}$
- d) Durasi 1 – 5 mdet
- e) Regular, dengan frekuensi 0,5 – 10 Hz
- f) Berbunyi seperti suara ‘rintik hujan di atas genting’
- g) Sama dengan *positive sharp wave*, fibrilasi dapat digradasikan dari 0 - +4



Gambar 8.24. *Fibrilasi*<sup>(8)</sup>

Gradasi fibrilasi:

0 :tidak dijumpai adanya positive sharp wave

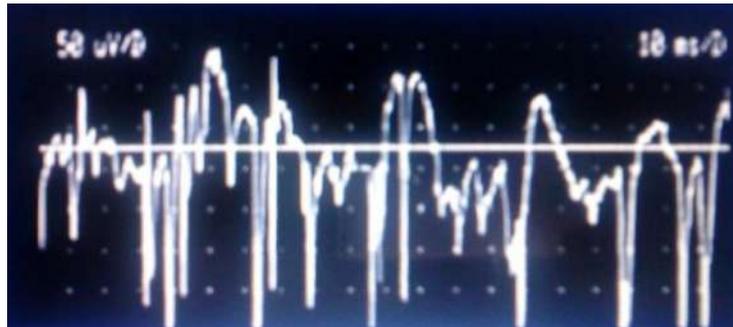
+1 :didapatkan potensial tunggal yang persisten (lebih dari 2-3 detik) pada minimal dua area



+2 : didapatkan potensial dalam jumlah sedang pada tiga area atau lebih



+3 : didapatkan banyak positive sharp wave pada semua area

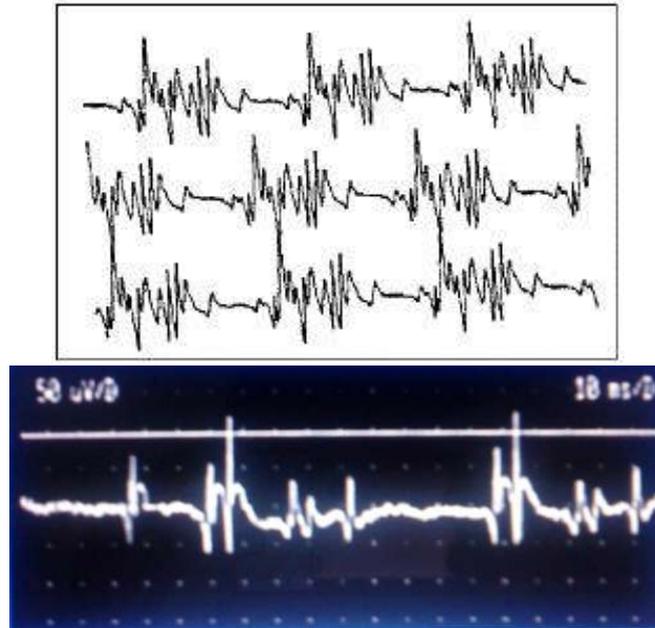


+4 : didapatkan potensial dengan bentuk full interference pattern



### 3. Complex Repetitive Discharge

- a) Merupakan letupan listrik berulang (*repetitive discharge*), hasil depolarisasi serabut otot yang mengalami denervasi yang diikuti oleh transmisi potensial secara *ephaptic*. Transmisi secara *ephaptic* adalah transmisi impuls antara serabut yang bersebelahan tidak melalui sistem sinaps
- b) Timbul dan menghilang secara mendadak dengan suara seperti mesin
- c) Frekuensi 20 – 150 Hz berbentuk gerigi (*multiserrated*)
- d) Bisa dijumpai pada neuropati dan miopati yang kronis



Gambar 8.25. *Complex repetitive discharge*<sup>(8)</sup>

#### 4. *Myotonic Discharge*

- a) Aktivitas spontan pada serabut otot (*muscle fiber*)
- b) Amplitude dan frekuensi bersifat *waxing and waning*
- c) Frekuensi berkisar antara 20 – 150 Hz
- d) Merupakan ciri khas pada miotonia distrofi, miotonia congenital dan paratonia congenital. Akan tetapi dapat dijumpai pula pada beberapa jenis miopati, periodic paralisis hipokalemia dan kasus denervasi dengan berbagai penyebab



Gambar 8.26. *Myotonic discharge*<sup>(8)</sup>

### **Tingkat motor neuron**

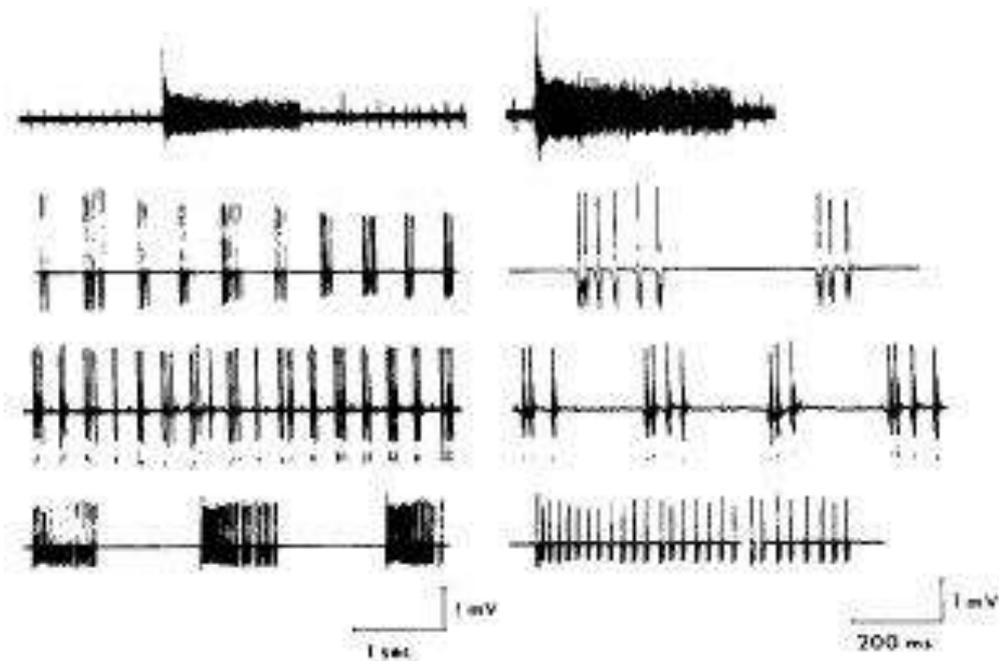
#### 1. Fasikulasi

- a) Merupakan letupan tunggal, spontan, involunter pada satu motor unit. Sumber letupan adalah motor neuron, akson saraf terutama pada bagian ujung distal
- b) Iregular, sangat lambat, frekuensi berkisar 0,1 – 10 Hz

- c) Pada orang normal dapat timbul fasikulasi yang disebut sebagai *benign fasciculation* yang timbul berulang – ulang pada satu tempat tertentu dan tidak disertai adanya kelemahan dan atrofi otot

2. *Myokymic Discharge*

- a) Merupakan letupan berkelompok, bersifat berulang – ulang, ritmis dan spontan pada satu motor unit
- b) Berasal dari depolarisasi spontan serabut saraf yang mengalami denervasi yang diikuti oleh transmisi *ephaptic*
- c) Frekuensi potensial dalam kelompok 5 – 60 Hz sedangkan frekuensi potensial di antara kelompok sangat kecil, kurang dari 2 Hz
- d) Jumlah potensial dalam kelompok bervariasi
- e) Dapat dijumpai pada radikulopati dan neuropati terutama oleh karena efek radiasi
- f) Dapat ditimbulkan pada keadaan hipokalsemia dengan cara hiperventilasi (*carpopedal spasm*)

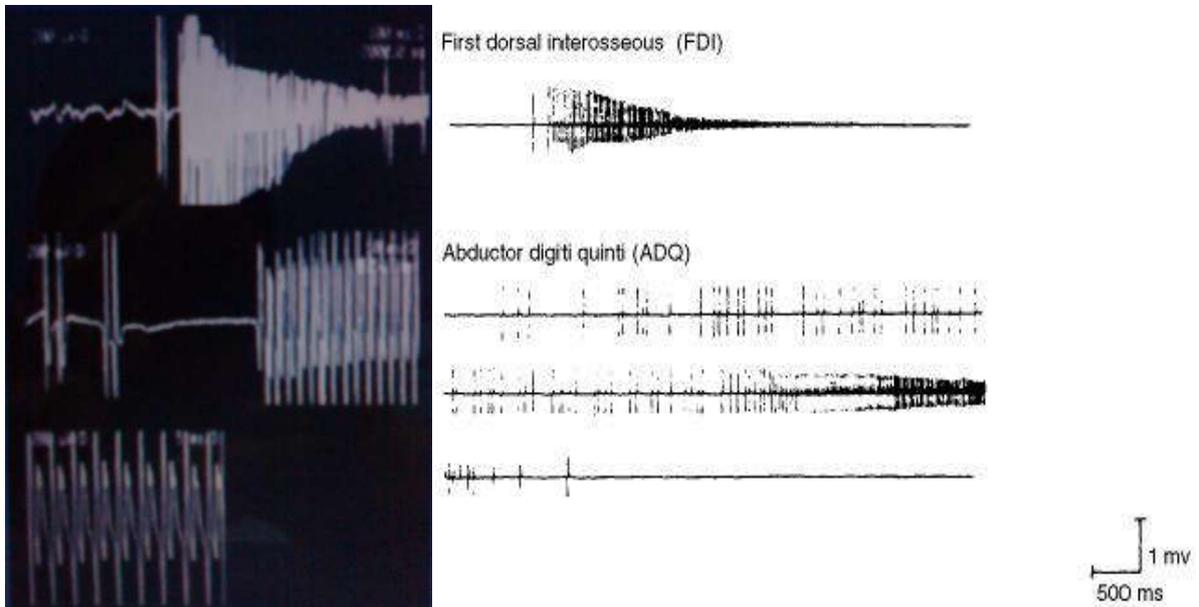


Gambar 8.27. Myokymic discharge<sup>(8)</sup>

3. *Neuromyotonic Discharge*

- a) Letupan berulang dari satu motor unit
- b) Frekuensi 150 – 250 Hz bersifat decrement

- c) Dapat dijumpai pada keadaan neuropati kronis, polio, adult spinal muscular atrophy dan sindroma Continuous Motor Unit Activity (CMUA) antara lain Isaac's syndrome, neuromiotonia, pseudomiotonia dan neurotonia



Gambar 8.28. *Neuromyotonic Discharge*<sup>(8)</sup>

#### 4. Aktivitas Insersional

Saat otot dalam keadaan istirahat, dalam keadaan normal, jarum EMG tidak menangkap adanya aktivitas listrik. Saat jarum EMG digerakkan, akan timbul depolarisasi pada serabut otot di dekatnya dalam waktu beberapa ratus milidetik yang disebut sebagai aktivitas insersional (*insertional activity*).

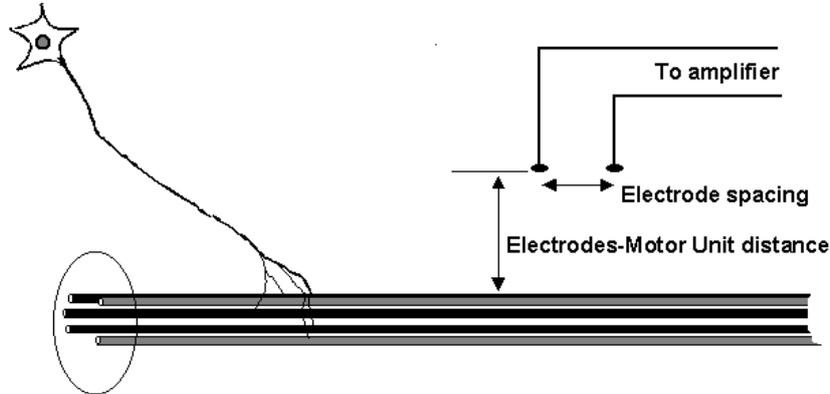
Peningkatan aktivitas insersional lebih dari 300 milidetik menunjukkan kelainan baik neuropati maupun miopati. Aktivitas insersional dapat juga menurun pada kelainan jaringan otot yang telah digantikan oleh jaringan ikat atau lemak.

#### 5. Analisis *Motor Unit Action Potential* (MUAP)

Setelah melakukan analisis aktivitas spontan pada saat otot dalam keadaan istirahat, selanjutnya dilakukan penilaian *Motor Unit Action Potential* (MUAP) pada saat otot berkontraksi, baik kontraksi minimal ataupun maksimal. MUAP merupakan potensial serabut otot akibat letupan motor neuron yang telah mengalami depolarisasi, yang kemudian dilanjutkan menuju ke akar saraf, saraf perifer, neuromuscular junction dan akhirnya ke serabut otot. Setiap motor unit mempunyai serabut otot yang bervariasi

misalnya pada otot laring hanya memiliki 5 -10 serabut otot per motor unit sedangkan pada otot soleus mencapai ratusan serabut otot per motor unitnya.

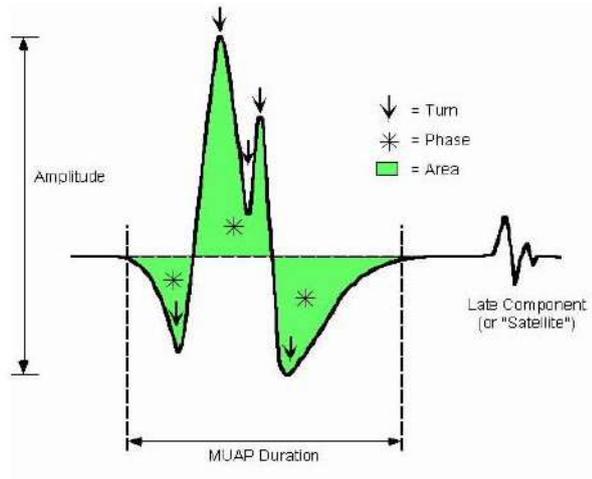
## 6. Morfologi MUAP



Gambar 8.29. Model MUAP<sup>(8)</sup>

### A. Durasi

1. Durasi adalah waktu mulai defleksi awal dari garis dasar sampai dengan defleksi akhir yang memotong garis dasar kembali
2. Merupakan parameter untuk mengetahui jumlah serabut otot dalam satu motor unit
3. Normal: 5 – 15 mdetik
4. Dalam keadaan normal durasi dipengaruhi oleh antara lain:
  - a) Usia  
Semakin lanjut usia durasi MUAP akan semakin meningkat
  - b) Letak otot  
Otot proksimal memiliki durasi yang lebih singkat
  - c) Suhu  
Penurunan suhu akan menyebabkan durasi meningkat
5. Durasi akan meningkat apabila semakin luas wilayah inervasi suatu motor neuron. Pada kasus denervasi yang telah mengalami reinervasi, maka wilayah inervasi motor unit akan semakin luas sehingga timbul gambaran MUAP dengan durasi lebih panjang dari normal



Gambar 8.30. *Durasi MUAP*<sup>(8)</sup>

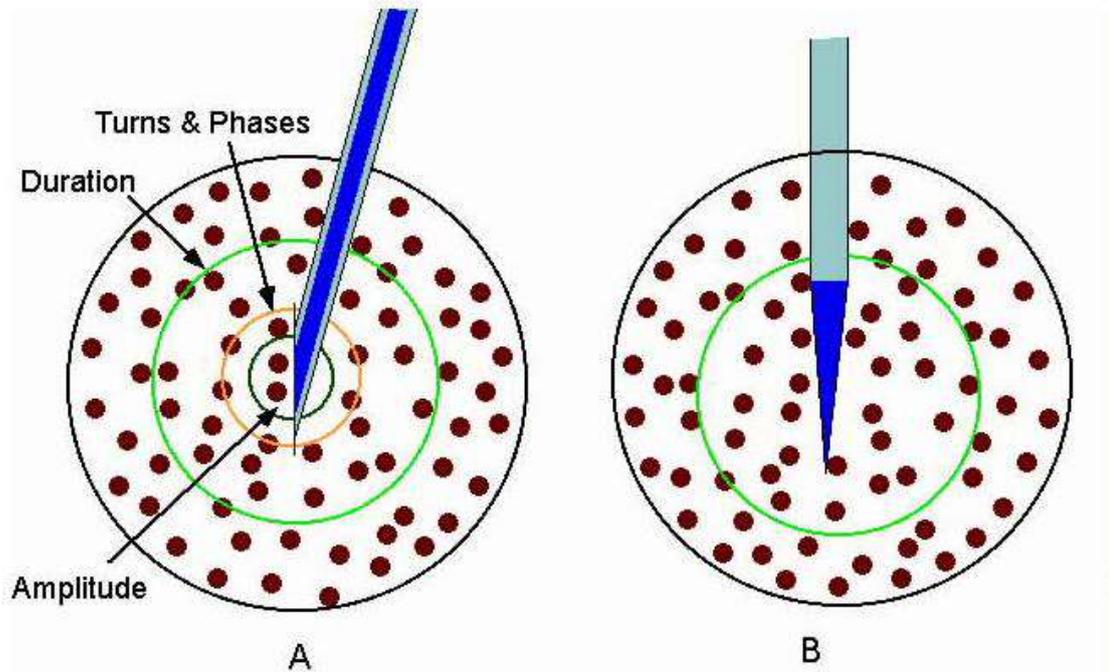
## B. Fase MUAP

1. Fase MUAP adalah perubahan defleksi potensial yang memotong garis dasar
2. Merupakan parameter yang menunjukkan apakah semua serabut otot dalam satu motor unit dapat berkontraksi secara bersamaan dalam satu waktu (sinkron)
3. Normal setiap MUAP memiliki 2 – 4 fase kecuali pada otot deltoid yang normal memiliki fase lebih banyak
4. Abnormal bila didapatkan lebih dari lima fase untuk setiap MUAP. Pada serabut otot yang mengalami denervasi, serabut otot tidak mampu berkontraksi secara serentak sehingga akan timbul gambaran polifasik
5. Gengi (*serration*) adalah perubahan defleksi potensial yang tidak melewati garis dasar memiliki arti klinis yang sama dengan fase

## C. Amplitudo MUAP

1. Diukur dari puncak ke puncak (peak to peak)
2. Normal: 100  $\mu$ V – 2 mV
3. Berbeda dengan durasi yang dipengaruhi jumlah serabut otot pada motor unit, amplitudo MUAP hanya mencerminkan beberapa serabut terdekat dengan jarum
4. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingginya amplitude:
  - a. Dekatnya jarum EMG pada motor unit akan menghasilkan amplitude yang tinggi
  - b. Jumlah serabut otot dalam motor unit meningkat
  - c. Diameter serabut otot meningkat (misalnya pada hipertrofi)
  - d. Serabut otot berkontraksi secara serentak dan simultan (sinkron)

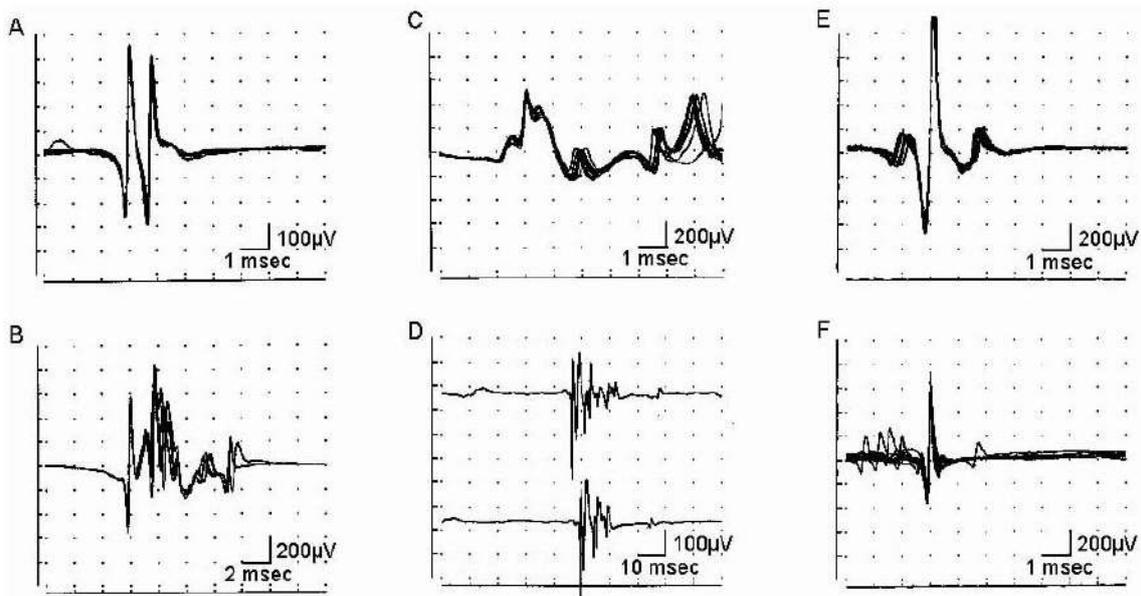
5. Amplitudo yang optimal didapatkan apabila jarum EMG berada tepat pada motor unit.  
Pada saat itu akan terdengar bunyi yang nyaring dan tajam
6. Pada miopati amplitudo kecil oleh karena berkurangnya kaliber serabut otot



Gambar 8.31. *Evaluasi Motor Unit: Biopsi Elektrofisiologis. Skematik menunjukkan area yang direkam dalam bentuk konsentrik (A) dan monopolar (B) elektrode jarum*<sup>(8)</sup>

#### D. Stabilitas MUAP

1. Stabilitas MUAP disebabkan oleh karena setiap potensial aksi yang timbul ditransmisikan secara efektif sepanjang neuron muscular junction (NMJ) dan semua serabut otot pada motor unit tersebut akan berkontraksi
2. Gangguan transmisi NMJ menyebabkan MUAP tidak stabil (*unstable MUAP*)
3. *Unstable MUAP* tidak hanya terjadi pada gangguan NMJ primer (misalnya miastenia gravis) tapi sering terlihat sebagai fenomena sekunder pada kelainan miopatik maupun neuropatik
4. Semua kelainan yang menunjukkan denervasi dapat menunjukkan *unstable MUAP*<sup>(8)</sup>.



Gambar 8.32. A. *Sapuan Superimposed* dari MUAP normal menunjukkan stabilitas. B & C. menunjukkan 4 dan 10 *superimposed sweeps*, berurutan, dari sebuah proses neurogenik kronis yang menunjukkan ketidakstabilan. D. menunjukkan 2 contoh *sweeps* dari MUAP yang sama pada *reinervasi awal* tanpa pemicu. Tampak serupa pada permukaan, namun, potensial pada *sweep* kedua jelas lebih pendek dalam durasi sebagai hasil dari ketidakstabilan (contoh, drop out atau blok dari beberapa komponen spike). E. menunjukkan peningkatan instabilitas atau jitter, sebagian pada bentuk tajam di sebelah kiri. F. menunjukkan peningkatan ketidakstabilan dengan hambatan<sup>(8)</sup>

### VIII. 3. Surface Elektromiografi (sEMG)

Elektromiografi berarti mendeteksi dan merekam aktivitas listrik otot skelet. Dalam kinesiologi, *surface* elektromiografi atau teknik elektromiografi permukaan terutama digunakan karena kebutuhan non-invasif. *Surface* elektromiografi menawarkan manfaat dari penanganan yang mudah, di mana batasan utama mereka adalah hanya otot permukaan yang dapat dideteksi. Untuk otot yang lebih dalam (tertutup oleh otot permukaan atau tulang) penggunaan elektroda kawat halus atau jarum tak terelakkan. Elektroda kawat halus, lebih tipis dan fleksibel, lebih cocok untuk aplikasi kinesiologi daripada elektroda jarum<sup>(11)</sup>.

Elektroda sEMG dapat diklasifikasikan dengan mempertimbangkan bahan dan teknologi yang diadopsi untuk manufakturnya. Satu dapat membedakan antara elektroda kering dan non-kering atau basah. Beberapa jenis elektroda kering ada: pin atau bar elektroda yang terbuat dari logam mulia (misalnya emas, platinum atau perak), elektroda karbon, dan *sintered* perak atau elektroda klorida silver. Elektroda basah termasuk lapisan gel konduktif, hydrogel atau spons jenuh dengan larutan elektrolit. Elektroda ini sering melekat sendiri, sehingga mudah diterapkan dan digunakan untuk analisis sEMG dinamis<sup>(11)</sup>.

Di antara elektroda permukaan, perak / silver chloride elektroda pra-gel adalah yang paling sering digunakan dan direkomendasikan untuk penggunaan umum. Diameter elektroda (area konduktif) harus berukuran 1 cm atau lebih kecil. Elektroda *disposable* komersial diproduksi sebagai elektroda gel basah atau gel perekat. Umumnya elektroda gel basah memiliki konduksi dan impedansi kondisi yang lebih baik (yaitu impedansi rendah) dari elektroda gel perekat. Yang terakhir memiliki keuntungan bahwa dapat direposisi jika terjadi kesalahan<sup>(11)</sup>.

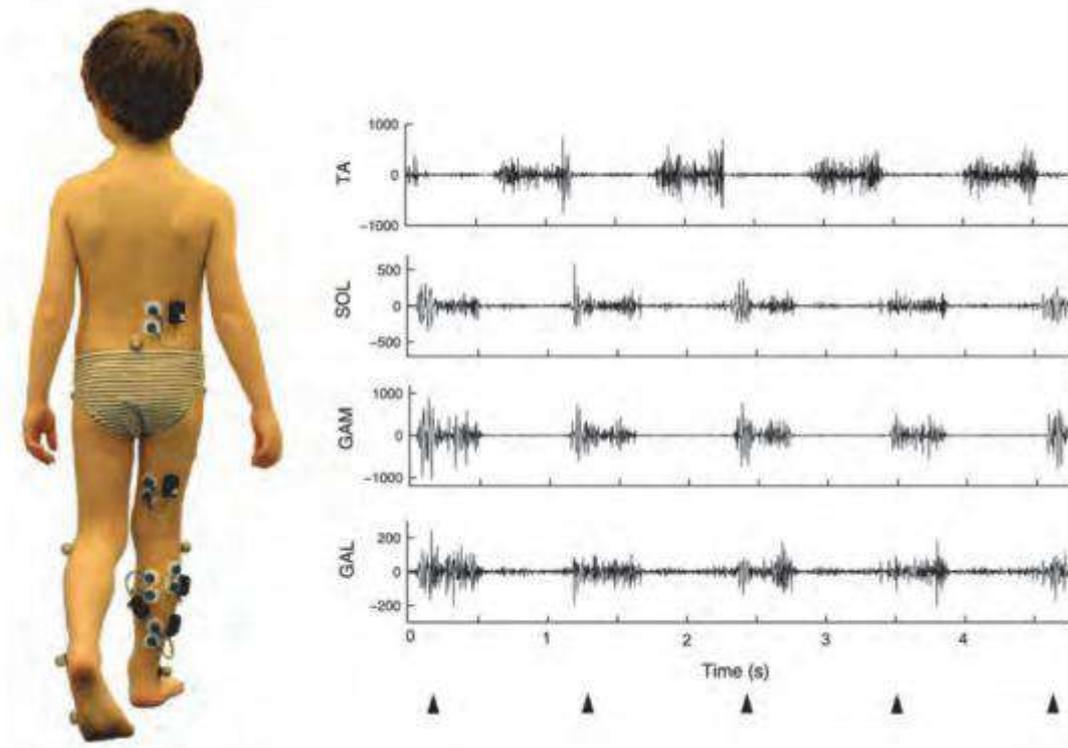
Elektroda diposisikan dalam susunan yang disebut susunan diferensial; yang berarti bahwa untuk setiap pasangan otot rangka tertentu elektroda harus terpasang sesuai dengan standar prosedur mengenai lokasinya sehubungan dengan otot, dan dengan jarak standar. Sekarang umumnya mengikuti standar SENIAM. Ada yang masih diperdebatkan di antara para ahli, bagaimanapun, mengenai posisi sebenarnya dari elektroda berkaitan dengan otot untuk pengukuran kinesiologi. Pendapat konservatif mengenai dua elektroda sinyal adalah bahwa mereka harus diposisikan pada titik tengah, bagian paling menonjol dari otot, pada jarak 15 sampai 30 mm. Sebuah pendekatan yang lebih tepat tentang posisi elektroda, namun, mengandaikan bahwa lokasi titik motor (plate) telah ditentukan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan dengan merangsang otot dengan listrik dan menentukan lokasi rangsangan di mana otot memiliki respon mekanik terbesar. Untuk waktu yang lama opini yang dipegang adalah bahwa elektroda harus diposisikan sedekat mungkin dengan titik motor. Loeb dan Gans menjelaskan sikap tradisional; mereka berpikir bahwa "elektroda harus diposisikan cukup dekat dengan titik motor dengan tujuan memperoleh sinyal maksimum dan amplitudo konstan" (Loeb & Gans, 1986). Namun, dari sudut pandang stabilitas sinyal, lokasi ini adalah yang terburuk. Di wilayah ini potensial aksi berjalan *caudally* dan *rostrally* sepanjang jaringan otot yang terdiri dari serat, sehingga fase positif dan negatif dari aksi potensial saling dinetralkan. Basmajian dan De Luca, oleh karena itu, berpendapat bahwa elektroda harus terletak kira-kira pada titik tengah antara titik lokasi dan titik di mana otot dan tendon bergabung karena disitu sifat sinyal yang paling stabil<sup>(11,12)</sup>.

Sejauh jarak interelektroda yang bersangkutan, De Luca dan Knaflitz merekomendasikan nilai 10 mm pusat ke pusat (De Luca & Knaflitz, 1992). Yakni, jarak interelektroda yang dipengaruhi sinyal spektrum (Lynn et al, 1978). Oleh karena itu perlu untuk menjaga jarak tetap, sehingga memungkinkan perbandingan kuantitatif nilai yang terukur intra dan intermuskular, serta antara subjek. Sebuah jarak 10 mm dianggap teknik kompromi yang baik karena dengan cara ini aktivitas otot listrik representatif terdeteksi

selama kontraksi (beberapa  $\text{cm}^3$  dari jaringan otot), sedangkan penyaringan efek konfigurasi bipolar berkurang pada saat yang sama (Lindstrom, 1973). Tetapi, dalam mengukur aktivitas otot dinamis, sering tidak mungkin untuk menjaga jarak interelektroda konstan, karena itu diperkenalkan variabilitas tambahan untuk prosedur pengukuran. Ini biasa untuk menemukan elektroda netral ketiga sejauh mungkin dari otot. Sebagai tambahan untuk dokumentasi eksperimen, dan dalam rangka mencapai pengulangan prosedur pengukuran, biasanya dilakukan pengambilan foto dari pengaturan elektroda yang sebenarnya<sup>(11,13,14,15)</sup>.

Setelah deteksi mengikuti penguatan dan penyesuaian sinyal, sinyal dibawa ke kisaran volt. Pre-amplifier diposisikan sedekat mungkin ke situs deteksi dan dari jenis diferensial. Sebuah properti penting dari penguat diferensial adalah penguat sinyal berkualitas tinggi dengan penekanan simultan kebisingan (Medved, 2001). Dihubungkan ke komputer melalui konversi digital analog (A / D), sinyal dapat diproses secara digital, tugas dapat dicapai baik dalam domain waktu atau dalam domain frekuensi<sup>(11,16)</sup>.

Perangkat electromyograph modern merekam sinyal berkualitas tinggi dengan penekanan noise yang baik. Biasanya, alat dirancang sebagai *data-loggers* atau sebaliknya, sistem *radiotelemetric* (misalnya ZeroWire oleh Noraxon, FREEEMG 300 oleh BTS). Mengingat masalah koordinasi otot dan sinkronisasi saat melakukan pola gerakan, diperlukan untuk mengukur channel EMG lebih secara bersamaan. Teknologi elektronik modern memungkinkan perangkat deteksi-amplifikasi kecil dan ringan serta transmisi sinyal terpercaya. Multichannel sEMG menampilkan seri sinyal secara visual dan menarik untuk memantau aktivitas otot, melayani, sebagai langkah pertama, dalam analisis kualitatif beberapa aksi otot, baik itu isometrik atau dinamis<sup>(11)</sup>.



Gambar 8.33. Rekaman sEMG Wireless pada anak berusia 5 tahun. Gambar di sebelah kiri menunjukkan elektroda dan kasus self-powered, masing-masing dilengkapi dengan preamplifier dan antena untuk transmisi sinyal mioelektrik independen. Jejak di sisi kanan adalah contoh ilustrasi rekaman EMG selama tugas jinjit kaki dari tibialis anterior (TA), soleus (SOL), gastrocnemius medialis (GAM), dan lateralis gastrocnemius (GAL)<sup>(17)</sup>

## DAFTAR PUSTAKA

1. Braddom.. 2000. *Physical Medicine and Rehabilitation*. Philadelphia: W.B Saunders Company.
2. Clarkson, H. M., 2013. *Muskuloskeletal Assessment: Joint Motion And Muscle Testing*. Canada: Lippincot William & Wilkins.
3. Potter, P. A, Perry, A. G., 2005. *Buku Ajar Fundamental Keperawatan: Konsep, Proses, dan Praktik*. Edisi ke-4, Volume 2. Alih Bahasa: Renata Komalasari, dkk. Jakarta: EGC.
4. Mills, K R., 2005. The Basics Of Electromyography. *Journal Neurol Neurosurg Psychiatry*. pp.76:ii32-ii35.
5. Price, S., Wilson, L. M., 2006. *Patofisiologi Konsep Klinis Proses-proses Penyakit*. Vol 2: Pp. 1110-1129. Jakarta: EGC.
6. Sidharta, Priguna., 2008. *Neurologi Klinis dalam Praktek Umum*. Jakarta: Dian Rakyat.
7. Standar Pelayanan Medis dan Standar Prosedur Operasional Perhimpunan Dokter Spesialis Saraf Indonesia ( PERDOSSI). 2006. Jakarta: PERDOSSI.
8. Marletti, Roberto., Parker, A. P., 2004. *Electromyography: Physiology, Engineering and Noninvasive Applications*. United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

9. Durrant, H., David., True, M., Jerome., 2001. *Myelopathy, Radiculopathy, and Peripheral Entrapment Syndromes*. United States: CRC Press
10. Mardjono, Mahar. 2009. *Neurologi Klinis Dasar*. Jakarta : PT. Dian Rakyat
11. Medved, V., Cifrek, M., Kinesiological Electromyography. *Biomechanics in Applications*. p349-366.
12. Loeb, G. E., Gans, C., 1986. *Electromyography for Experimentalists*. The University of Chicago Press, ISBN 0226490149, Chicago & London
13. De Luca, C. J., Knaflitz, M., 1992. *Surface Electromyography: What's New?*, CLUT, Torino, Italy.
14. Lynn, P. A., Bettles, N. D., Hughes, A. D., Johnson, S. W., 1978. Influences of Electrode Geometry on Bipolar Recordings of the Surface Electromyogram. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 16, 651-660, ISSN 0140-0118.
15. Lindstrom, L., 1973. *A Model describing the Power Spectrum of Myoelectric Signals. Part I: Single Fiber Signal*. Chalmers University of Technology, Goteborg.
16. Medved, V., 2001. Measurement of Human Locomotion. *CRC Press*. ISBN 0-8493-7675-0. Boca Raton, Fl., USA.
17. Frigo, C., & Crenna, P., 2009. Multichannel SEMG in Clinical Gait Analysis: A Review and State-of-the-art. *Clinical Biomechanics*. Vol.24, No.3, pp. 236-245, ISSN 0268-0033.

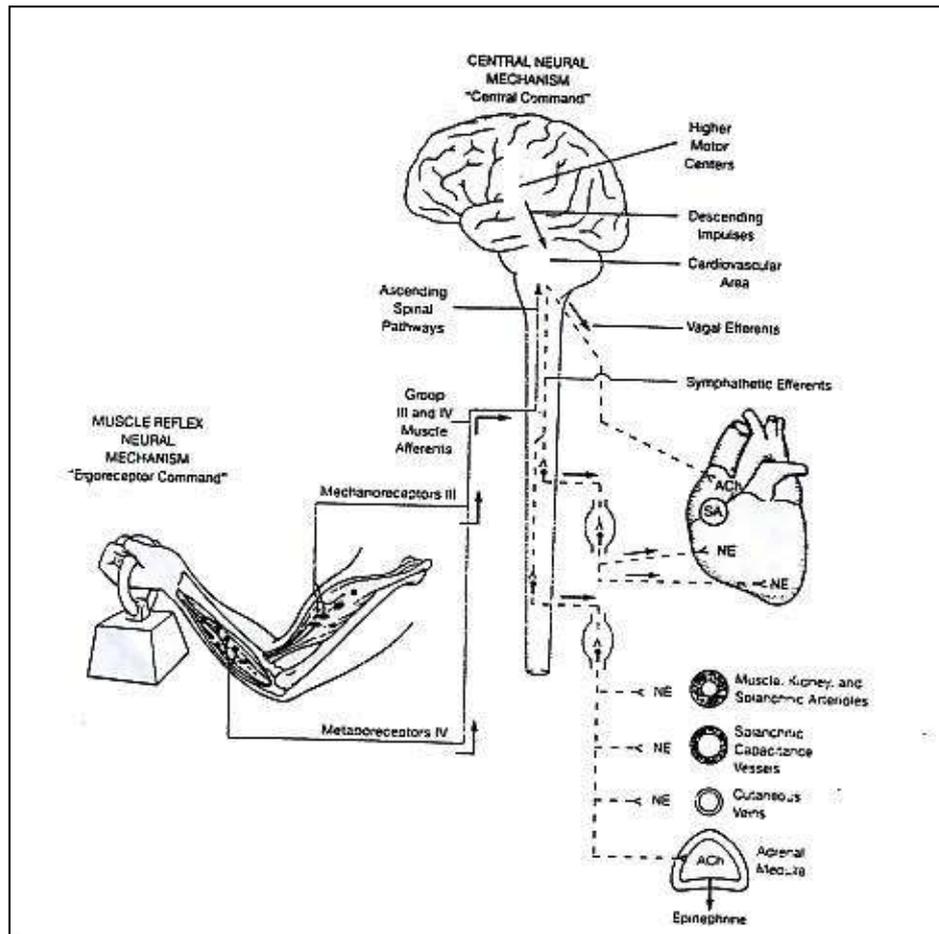
## BAB IX

### HUBUNGAN TANDA VITAL DENGAN KONTRAKSI OTOT

#### IX.1. Pengaruh “*Central Command*”

Regulasi sistem kardiovaskuler selama latihan statik dan dinamik dimana keduanya secara langsung mempengaruhi kontrol neuron dan kontrol refleks neuron. Pengendali sentral, kita sebut sebagai “*central command*” yang memberikan impuls dari *higher motor center* di cerebrum (otak) ke *cardiovascular center* di *medulla oblongata* (batang otak). Ketika seseorang mengawali latihan (*start*), keadaan ini menyebabkan timbulnya impuls yang dikirimkan ke motor unit untuk menimbulkan kontraksi otot, juga ada impuls yang dikirimkan ke *cardiovascular center*, dan segera menyebabkan keluarnya saraf simpatis menuju SA nodus di jantung. Pengeluaran *norepinephrine* (NE) dan *epinephrine* (E) di SA nodus meningkatkan *heart rate* (HR). Sedangkan rangsangan parasimpatis yang mengeluarkan *acetylcholine* ke SA nodus akan diturunkan sehingga menyebabkan peningkatan HR pada detik awal latihan. Pengeluaran NE ke *ventrikel* dan ke beberapa daerah jantung, akan meningkatkan kontraksi otot jantung serta memperbesar *stroke volume* yang menyebabkan meningkatnya *cardiac output*, kombinasi peningkatan ini dengan kontraksi pembuluh darah pada otot yang aktif akan menyebabkan meningkatnya tekanan darah sistolik yang disebut sebagai “*Exercise pressor reflex*”<sup>(1)</sup>.

Ada impuls lain menuju ke *Cardiovascular center* (CVC) setelah otot mulai berkontraksi dengan gerakan lain atau *static tension*. Impuls ini berasal dari reseptor spesial yang di temukan pada otot dan tendon yang disebut sebagai *ergoreceptors*. Salah satu tipe *ergoreceptors* yang sensitif terhadap efek mekanik kontraksi otot yaitu *mechanoreceptors*. Serabut otot afferent untuk *mechanoreceptors* adalah serabut otot tipe III, yang memiliki *paciniform corpuscles* pada *sensory ending*. Serabut saraf ini melalui *dorsal root* menuju ke *medulla spinalis* dan kemudian menuju ke CVC. *Mechanoreceptors* bersama dengan impuls dari *cerebral motor*, memberikan informasi ke CVC. Impuls dari *central command* dan *mechanoreceptors* ke CVC menyebabkan respon kardiovaskuler berupa aktivitas sistem saraf otonom yang mempengaruhi jantung dan pembuluh darah<sup>(1)</sup>.

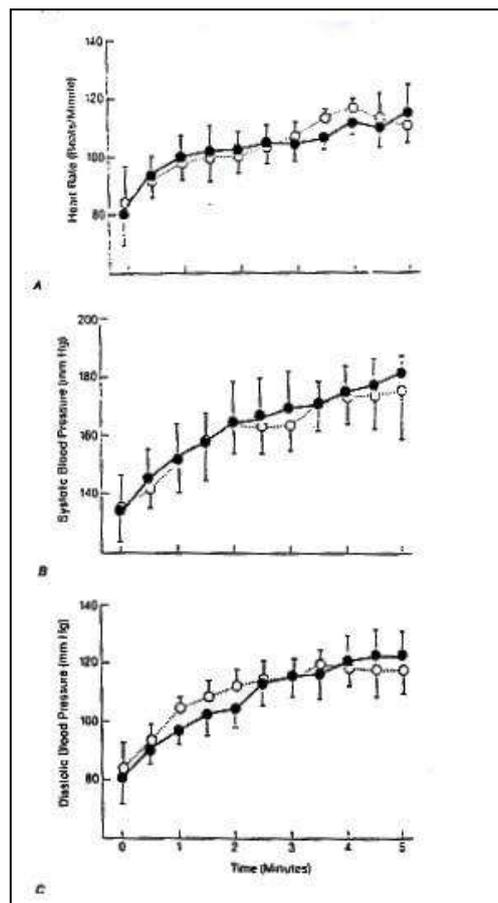


Gambar 9.1. Kontrol kardiovaskuler sistem selama latihan. Ada dua jalur impuls, yaitu yang turun dari motor region di cerebrum (*central command*) dan impuls yang ke atas dari *muscle receptors (ergoreceptors command)* yang akan menuju ke kardiovaskuler area (*Cardiovascular center/CVC*) di medulla. Yang kemudian menghasilkan penurunan aktivitas parasimpatis ke jantung dan meningkatnya aktivitas simpatis ke jantung, pembuluh darah, dan medulla adrenalis. Dan akhirnya akan meningkatkan cardiac output dan meningkatkan tekanan darah. Kombinasi dari peningkatan keduanya disebut sebagai "*exercise pressor reflex*"<sup>(1)</sup>

Tipe kedua dari *ergoreceptors* adalah *metaboreceptors*, reseptor ini akan memberikan arus balik (*feedback*) ke CVC di batang otak untuk kemudian mengatur secara tepat peningkatan kebutuhan metabolik. Ujung reseptor ini bebas (*free nerve ending*) yang disebut *nociceptor* (diaktifkan oleh rangsangan noxious dan bertanggungjawab untuk nyeri otot. Serabut *afferent*-nya tidak bermeylin, sehingga hantaran konduksinya lambat, dan digolongkan dalam serabut saraf sensoris tipe IV. Jalur hantarannya pun sama dengan serabut saraf tipe III yaitu dari *mechanoreceptors* ke medulla spinalis kemudian ke CVS. Bedanya pada latihan dinamik dengan intensitas rendah mekanisme refleks neural mungkin tidak teraktivasi, tetapi latihan dinamik dengan intensitas yang tinggi, atau selama latihan statik,

refleks neural dengan cepat memberikan signal untuk meningkatkan aliran darah. Impuls ini dikirim ke CVS dan memberikan jawaban pengaturan jantung dan pembuluh darah sesuai dengan kebutuhan jaringan<sup>(1)</sup>.

Pengaturan respon kardiovaskuler terhadap latihan diatur oleh beberapa mekanisme kontrol saraf. Ada mekanisme pengaturan yang *independent* yang mempengaruhi respon kardiovaskuler, dan tidak dibantu oleh pengaruh dari otak. Pada gambar 9.2., terlihat bahwa respon terhadap frekuensi, tekanan darah adalah sama pada kontraksi statik yang dirangsang oleh rangsangan listrik (tidak ada pengaruh central, hanya *ergoreceptors* saja) dengan kontraksi volunter yang dipengaruhi oleh *central command* dan *ergoreceptors*. Fakta ini membuktikan bahwa otot dapat berkontraksi tanpa selalu dipengaruhi oleh *central command* (otak). Pada penelitian lain, dilakukan blok anasthesi spinal terhadap latihan statik dan dinamik, dengan maksud menghilangkan efek neural *reflex command* dari *ergoreceptors*, hasilnya juga terjadi peningkatan *cardiac output* selama latihan dinamik karena adanya efek dari *central command*<sup>(1)</sup>.

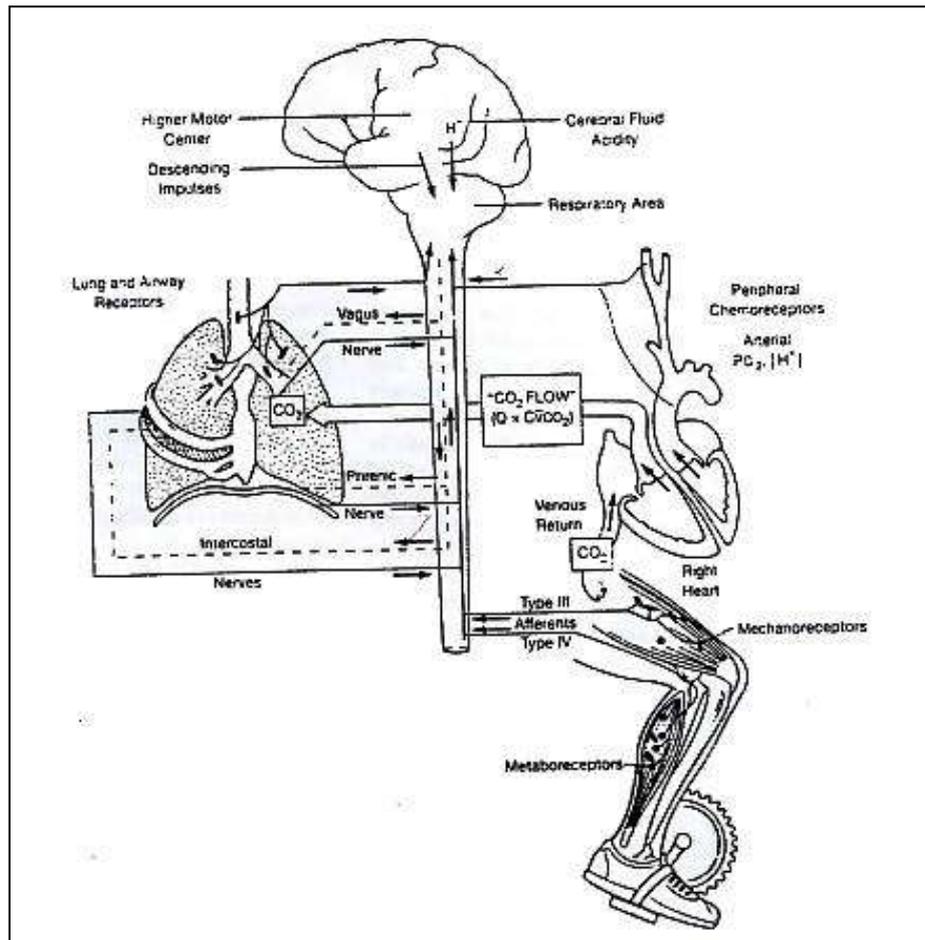


Gambar 9.2. Respon *Heart rate* (A), *Systolic blood pressure* (B), dan *Diastolic blood pressure* (C) terhadap kontraksi *static exercise voluntary* dan kontraksi *electrical-induced*<sup>(1)</sup>

Bukti lebih jauh untuk keefektifan *central command* telah didapatkan dari penelitian fungsi *neuromuscular* dengan cara memblok sebagian/partial dengan *decamethonium*. Hasilnya ternyata lebih banyak motor impuls yang dikirim ke motor neuron yang menyebabkan motor unit cukup menghasilkan tegangan statis, katakanlah 10-30% dari kontraksi volunter maksimum. Mekanisme sentral maupun refleks saraf menghasilkan respon kardiovaskuler karena sama-sama mempengaruhi jalur saraf di sistem saraf sentral. Jika ada signal yang tidak proporsional dari mekanisme saraf pusat, maka akan digabungkan dengan pengaturan mekanisme refleks saraf, semakin besar keduanya menunjukkan respon terhadap HR dan BP<sup>(1)</sup>.

Mekanisme kontrol untuk pulmonal atau sistem ventilasi selama latihan tampak pada gambar 9.3, pada *respiratory system* dan sistem kardiovaskuler di *medulla oblongata* mendapat *descending impuls* dari *higher motor neuron* di *cerebrum* dan *ascending impuls* dari *mechano - metaboreseptor* dari otot yang aktif, di samping kedua impuls itu ada impuls ketiga yaitu dari paru sendiri. Sensor di paru mendeteksi perubahan *CO<sub>2</sub> flow* yang didapat dari *cardiac output* dan *CvCO<sub>2</sub>* (konsentrasi *CO<sub>2</sub>* dalam vena), yang mengatur *C-fiber ending* di *n. vagus* yang akan membawa informasi tentang meningkat/menurunnya *CO<sub>2</sub> flow* ke paru. Selama istirahat atau latihan dengan intensitas yang rendah. Pengaturan frekuensi dan dalamnya pernapasan dilakukan oleh peningkatan aktivitas otot intercostalis dan diaphragma<sup>(1)</sup>.

Tampak pada gambar 9.3., adanya *impuls* ke *respiratory center*, yaitu terdapat beberapa reseptor, yakni reseptor yang berasal dari paru-paru dan reseptor di jalan napas, interkostal dan *diaphragma muscle spindle*, reseptor perifer di *carotid body* dan *central chemoreseptor* di medulla sendiri. Dan ada mekanisme *feedback* yang berasal dari paru-paru, reseptor di jalan napas dan *receptor* di otot-otot pernapasan, yang juga mempengaruhi arus, tekanan, volume dan tegangan yang berhubungan dengan kontrol pernapasan dan volume paru. *Peripheral chemoreseptor* akan peka terhadap perubahan *pO<sub>2</sub>* dan ion *H<sup>+</sup>*, dan *central chemoreseptor* akan peka terhadap penurunan *pH* di cairan ekstraseluler cerebral<sup>(1)</sup>.



Gambar 9.3. Kontrol sistem ventilasi selama latihan. *Respiratory center* menerima impuls dari motor region di otak, dari *central chemoreseptor* yang sensitif terhadap perubahan ion H<sup>+</sup> dan menerima impuls dari reseptor spesial, termasuk paru-paru, reseptor jalan napas, reseptor CO<sub>2</sub> paru, reseptor di otot-otot intercostalis dan diaphragma, *metabo-mechanoreceptors* di otot-otot yang aktif dan kemoreseptor perifer. Kesemuanya ini akan menghasilkan penurunan aktivitas Parasimpatis di *bronchioles* dan meningkatkan impuls ke diaphragma dan otot intercostalis melalui *n. phrenicus* dan *n. intercostalis*. Yang akhirnya akan menyebabkan ***exercise induced hyperpnea***, peningkatan frekuensi dan dalamnya napas dan regulasi PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, serta pH<sup>(1)</sup>

Konsep yang berlaku pada regulasi *neurohumoral exercise induced hyperpnea* ini sesuai dengan model konsep ini (gambar), misalnya *CO<sub>2</sub> flow* sebagai faktor humoral dapat mengendalikan ventilasi dalam berbagai macam kondisi pada saat istirahat atau gerakan yang kecil. Sedangkan pada saat latihan, akan dihasilkan neural impuls dari *cerebral motor center* untuk mengatur ventilasi guna menghasilkan kekuatan otot dan laju metabolik. Dan jika latihan dilanjutkan, maka *central neural regulation* akan dibantu dengan pengendalian neural dari *mechanoreceptor* dan *metaboreceptors*<sup>(1)</sup>.

Efektifitas pengaturan ventilasi dapat dilihat dari hasil antara produksi CO<sub>2</sub> oleh otot yang aktif dan pengaruh yang kuat dari *hyperpnea* sebagai hasil dari regulasi PCO<sub>2</sub> arteri dan konsentrasi ion H<sup>+</sup>. Tampaknya ini tidak sesuai antara stimulus pertama untuk bernapas selama latihan dengan respon yang ideal seperti regulasi penuh pCO<sub>2</sub> arteri, yang mana akan menghasilkan *isocapnic hyperpnea*. *Chemo-feedback* dari perifer dan *central reseptor* akan memberikan tambahan stimulus ketika stimulus pertama tidak adekuat, dan menyebabkan hiperventilasi lebih kuat lagi. Ketepatan pengaturan lewat chemoreseptor feedback adalah kurang lebih 5–10 %, tetapi ketidaktepatan tergantung pada individu selama melakukan latihan dengan intensitas yang tinggi<sup>(1)</sup>.

Ada suatu bukti mengenai kontrol pada over ventilasi, karena *respiratory center* dapat mengatur keseimbangan selama latihan berat. Misalnya *hyperventilation* dan penurunan kadar CO<sub>2</sub>, *respiratory center* berusaha mengatur agar tidak terjadi efek *metabolic acidosis*, dan disaat yang sama juga melindungi efek *hypoxemia* dengan meningkatkan pengambilan oksigen dari udara ke alveoli<sup>(1)</sup>.

Dalam latihan fisik yang terprogram (*training*) kontrol kardiovaskuler dan respirasi sangat penting, misalnya *bradikardia* pada orang yang terlatih disebabkan karena adanya perbedaan mekanisme kontrol saat istirahat dan selama latihan. Respon bradikardia saat istirahat disebabkan oleh perubahan kontrol Parasimpatis, dan penurunan pengendalian simpatis. *Training* mempunyai pengaruh terhadap *muscle receptor* yang kemudian menyebabkan terjadinya *bradikardia*. Orang yang terlatih ketika melakukan latihan yang berat akan menyebabkan respon terhadap frekuensi nadinya (*takikardia*) akibat efek *feedback* selama latihan. Perbedaannya antara orang yang terlatih dengan orang yang tidak terlatih tampak pada kontrol area ventilasi, dimana orang yang terlatih memiliki *V<sub>E</sub> increases per unit of metabolic rate* yang rendah seperti VO<sub>2</sub> uptake atau VCO<sub>2</sub> production. Bisa dikatakan respon ventilasi terhadap rangsangan kimia relatif rendah. Hal lain yaitu pengendalian ventilasi terhadap hipoksia dan hiperkapnea dapat dilihat pada hasil pengukuran VO<sub>2</sub> max<sup>(1)</sup>.

Pada penggunaan otot-otot fleksi dan ekstensi dalam latihan statik maupun dinamik mengangkat barbel atau beban dapat memicu *ergoreceptor* yang berupa *mechanoreceptors*, *metaboreceptor*, *central* dan *perifer chemoreceptor* untuk meneruskan jalur impuls dari *muscle receptor* menuju ke kardiovaskuler area dan *respiratory area*. Kemudian, impuls tersebut akan mengaktifkan *central command* menuju ke jantung, pembuluh darah dan paru dengan menurunkan aktivitas parasimpatis dan meningkatkan aktivitas simpatis. Hal tersebut

mengakibatkan peningkatan frekuensi jantung, dan memperbesar stroke volume sehingga *cardiac output*, tekanan darah meningkat dan frekuensi nafas meningkat<sup>(1)</sup>.

### **Mekanisme Kontrol yang lain**

Kontrol saraf pada sistem kardiorespiratori terutama bertujuan untuk efisiensi seluruh fungsi tubuh. Maka itu kontrol ini tidak hanya diatur oleh *central nervous system*, tetapi juga diatur oleh peningkatan suhu darah (*blood temperature*), keasaman dan pergeseran ke kanan kurva HbO<sub>2</sub> disosiasi selama latihan. Di samping itu, dengan faktor yang sama ditambah dengan pO<sub>2</sub> yang rendah akan menyebabkan vasodilatasi pembuluh darah arteri pada otot-otot yang aktif. Akibat dari hal ini akan menyebabkan respon perubahan antara lain peningkatan *venous return* akibat dari aktivitas mekanik otot dan pompa respirasi, dan adanya hemokonsentrasi yang disebabkan oleh perpindahan cairan antara otot-otot yang aktif dan darah. Kesemuanya ini guna untuk efisiensi sistem kardiovaskuler, khususnya selama latihan<sup>(1)</sup>.

### **Tipe-tipe latihan**

Seal dan Victor menambahkan adanya pengaturan dari “*muscle sympathetic nerve activity*” (MSNA) pada beberapa tipe latihan yang berbeda. Kontraksi otot dinamik maupun statik akan menyebabkan Rangsangan pada MSNA, yang menyebabkan vasokonstriksi pembuluh darah pada otot-otot yang tidak aktif. Intinya adanya vasokonstriksi menyebabkan darah mengalir ke tempat otot-otot yang aktif<sup>(1)</sup>.

1. Penurunan vasokonstriksi pembuluh darah pada otot yang tidak aktif selama exercise akibat respon dari MSNA dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: jenis kerja yaitu kontraksi dinamik atau statik, intensitas dan lamanya kontraksi, tingkat kondisi fisik dari otot, dan kecepatan terjadinya kelelahan otot.
2. Meningkatnya MSNA (pembuluh darah yang vasokonstriksi) selama latihan yang berat akan menyebabkan perubahan kadar *norepinephrine*, tahanan vaskuler, dan tekanan darah arteri (merupakan respon fisiologis).
3. Respon MSNA pada level latihan yang sama menandakan kesehatan seseorang.
4. Selama kontraksi statik pada otot manusia, mekanisme pertama yang merangsang MSNA adalah *metaboreceptors command*.

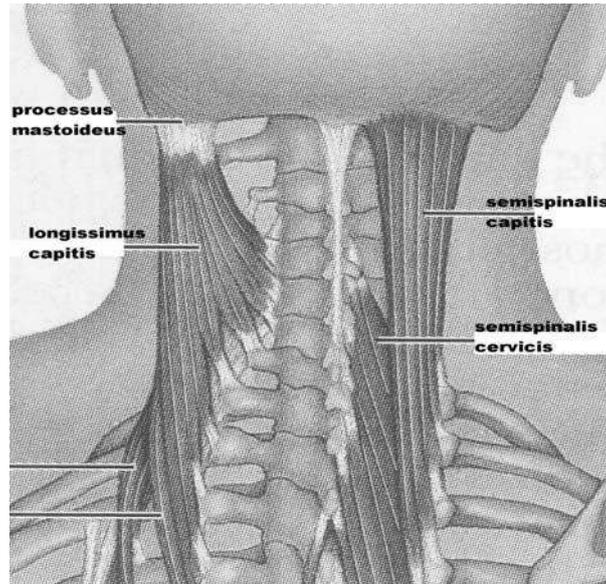
5. Stimulus MSNA dari *metaboreflex* otot, dapat terlihat pada latihan dinamik baik yang sedang, maupun dengan intensitas yang submaximal, tetapi tidak terjadi rangsangan pada intensitas yang rendah.
6. Peningkatan MSNA dari *metaboreflex* otot, juga terjadi pada latihan yang berat yang menyebabkan turunnya simpanan glikogen otot (*glycogenolysis*) dan penumpukan ion hidrogen di dalam sel otot.

Pengaruh MSNA dalam penurunan aliran darah pada otot yang tidak aktif selama latihan *isometric* pada orang sehat tidak berkurang akibat pengaruh hambatan dari *vagal reflex* (*parasympathetic of ANS*), tetapi menghambat *baroreflex* arteri<sup>(1)</sup>.

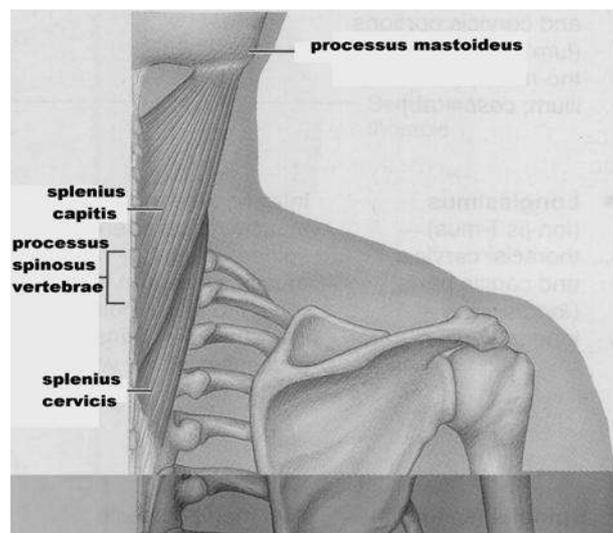
## IX.2. Pengaruh *Tension Headache*

Pada nyeri kepala tegang, puncak kepala seperti ditekan, sekeliling kepala seperti diikat. Hal ini disebabkan karena ketegangan berlebihan otot frontal dan otot oksipital, ditambah lagi oleh otot temporal. Ketegangan dari otot-otot tersebut menyebabkan *galea aponeurotica* menekan pada puncak kepala, bahkan terasa menekan seluruh kepala, dengan menarik kulit kepala kearah profunderal (dalam)<sup>(2)</sup>. Kalau tekanan ini terlalu kuat dan lama dapat muncul rasa nyeri setempat dan denyut ringan di kepala, akibat tertekan atau tertariknya saraf tepi dan pembuluh darah di dalam jaringan subkutan kulit kepala. Hal ini seringkali menyulitkan diagnosis oleh karena gejalanya menjadi mirip dengan migren<sup>(3)</sup>.

Otot-otot yang mengalami ketegangan pada nyeri kepala tegang adalah otot yang berfungsi untuk **ekstensi kepala** atau **yang membantu ekstensi kepala**. Otot yang letaknya superfisial dan membantu ekstensi kepala adalah *m. trapezius* bagian atas. Otot yang lebih dalam adalah *m. semispinalis capitis*, *m. longissimus capitis* dan *m. splenius capitis* (Gambar 9.4. dan gambar 9.5.)<sup>(4)</sup>.



Gambar 9.4. Otot leher yang membantu ekstensi kepala dan terletak relatif dalam: *m. semispinalis capitis* dan *m. longissimus capitis*<sup>(4)</sup>

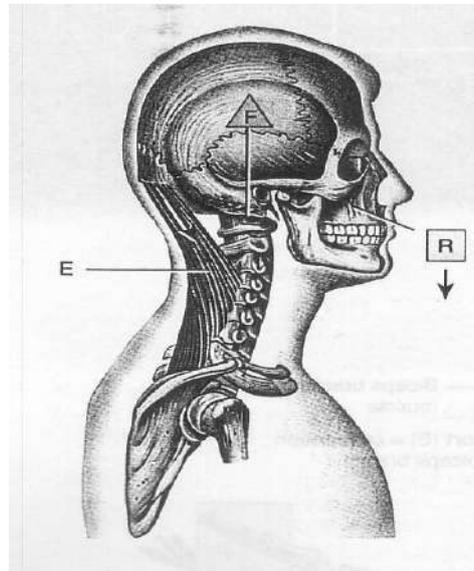


Gambar 9.5. Otot leher yang membantu ekstensi kepala dan terletak relatif dalam: *m. splenius capitis*<sup>(4)</sup>

Pada nyeri kepala tegang daerah leher tempat otot-otot tersebut melekat teraba tegang. Apabila dipijat terasa sakit tetapi juga terasa enak. Hal ini disebabkan sewaktu dipijat, aliran darah seperti dipompakan lagi ke dalam otot, yang sebelumnya ada kondisi iskemik disebabkan otot yang tegang menekan dan menghambat sirkulasi darah. Pemulihan keadaan iskemik menjadi *non-iskhemik* ini juga akan memutus lingkaran jalur patofisiologi nyeri kepala tegang<sup>(5)</sup>.

Lingkaran jalur ini ditimbulkan karena kondisi iskemik menimbulkan rasa nyeri yang impulsnya dibawa kembali ke pusat di sumsum tulang belakang dan memicu kembali

spasme otot sehingga berakibat otot menjadi lebih tegang lagi. Tarikan otot berkepanjangan pada periosteum di perlekatan atas yaitu pada mastoid atau pada tulang oksipital akan menimbulkan proses peradangan yang berakibat juga timbulnya rasa nyeri di daerah tersebut<sup>(4)</sup>.

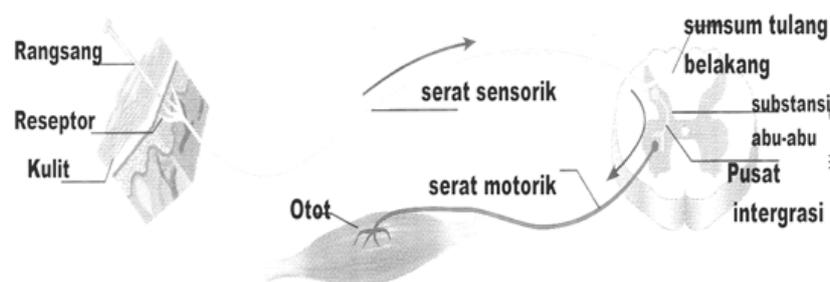


Gambar 9.6. Sistem pengungkit didaerah leher. (Supaya kepala dalam posisi tegak, otot kulit kepala dan leher bagian belakang sudah dengan ketegangan otot tertentu setiap saat, karena harus menyangga rangka muka)<sup>(6)</sup>

Kerja sebagian besar otot skelet melibatkan penggunaan sistem pengungkit. Kekuatan (*effort*) yang diaplikasikan pada suatu pengungkit bekerja pada suatu titik terfiksasi atau titik tumpu (*fulcrum*) untuk melawan suatu beban (*load*). Pada tubuh, bila kepala kita dalam posisi tegak, kontraksi otot-otot belakang leher merupakan kekuatan yang bekerja (*effort*), sendi atlanto-oksipital (sendi antara ruas leher I dan dasar tengkorak) merupakan titik tumpu dan rangka muka merupakan beban yang harus disangga (Gambar 9.6.). Pada keadaan biasa otot-otot leher bagian belakang sudah dalam keadaan dengan tonus atau ketegangan otot tertentu untuk mempertahankan supaya kepala tetap tegak<sup>(4)</sup>. Bila karena posisi tertentu yang lama otot leher belakang. harus menanggung beban berlebih, misalkan bekerja di depan komputer dengan posisi leher terlalu maju ke depan mendekati layar komputer, maka otot menjadi lelah dan teregang. Peregangan ini lewat kumparan otot akan menimbulkan secara refleks ketegangan otot yang akan semakin meningkat. Ketegangan otot akan menarik periosteum bagian belakang kepala, nyeri yang timbul secara refleks seterusnya akan menimbulkan lagi spasme otot disekitarnya seperti otot oksipital dan temporal, sehingga

muncul nyeri kepala tegang. Jadi nyeri lokasinya dapat pada perlekatan otot, tetapi juga pada otot itu sendiri akibat iskemia dalam otot<sup>(7)</sup>.

Otot kulit kepala mendapatkan persarafan dari cabang-cabang saraf kranial ke 7 yaitu *nervus facialis*. Sedangkan otot-otot leher yang terkait dengan nyeri kepala tegang seperti telah disebutkan di atas mendapatkan persarafan dari saraf-saraf spinal yang muncul dari segmen sumsum tulang belakang; jumlahnya 31 pasang. Saraf spinal dan semua cabang yang berasal darinya untuk melayani semua bagian dari tubuh, menghubungkan Sistem Saraf Pusat dengan reseptor sensorik, otot, kelenjar dan termasuk bagian dari sistem saraf tepi. Ke-31 pasang saraf spinal diberi nama dan nomer sesuai dengan daerah ruas tulang belakang. Sepasang saraf spinal servikal (leher) pertama muncul dari ruas tulang belakang pertama (atlas) dan tulang tengkorak kepala oksipital. Semua saraf spinal yang lain muncul sepanjang tulang belakang melalui *foramen intervertebrale* antara 2 ruas tulang belakang yang berurutan. Masing-masing saraf spinal mempunyai 2 hubungan dengan *medulla spinalis* (sumsum tulang belakang) yaitu *radix anterior* (akar depan) dan *radix posterior* (akar belakang). Kedua akar ini bertemu pada *foramen intervertebrale* (lubang antar ruas tulang belakang) membentuk saraf spinal. Saraf spinal merupakan saraf campuran, serat yang bersifat sensorik masuk sumsum tulang belakang lewat akar belakang, sedangkan serat yang bersifat motorik masuk sumsum tulang belakang lewat akar depan. Badan sel serat sensorik terletak di *ganglion spinale* yang terletak di akar belakang. Badan sel motorik terletak di tanduk depan sumsum tulang belakang<sup>(8)</sup>.



Gambar 9.7. Busur refleks segmen sumsum tulang belakang (Busur refleks ini terlibat dalam semua aktivitas otot rangka, sebagian melibatkan juga pusat-pusat otak yang lebih tinggi, seperti dalam refleks peregangan otot rangka)<sup>(8)</sup>

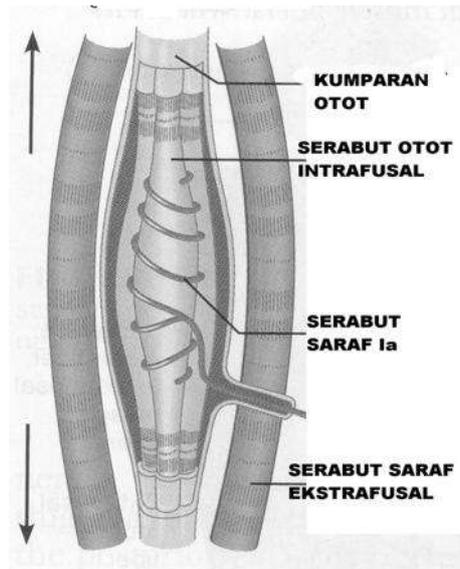
Semua refleksi terjadi lewat lintasan saraf yang sangat spesifik disebut busur refleksi (*arcus reflex*) (Gambar 9.7.). Secara mendasar semua busur refleksi mempunyai 5 komponen yang penting, yaitu :

- 1) Reseptor yang merupakan lokasi dimana suatu stimulus beraksi.
- 2) Neuron sensorik yang meneruskan impuls aferen ke susunan saraf pusat.
- 3) Pusat integrasi, pada busur refleksi yang paling sederhana (*refleks monosinaptik*) merupakan sinaps (area hubungan antara 2 neuron) tunggal antara neuron sensorik dan neuron motorik. Pada refleksi yang lebih kompleks, pusat integrasi melibatkan banyak sinaps yang merupakan rantai-rantai interneuron (*refleks polisinsaptik*). Pusat integrasi selalu berada di dalam susunan saraf pusat, yaitu sumsum tulang belakang dan otak.
- 4) Neuron motorik meneruskan impuls eferen dari pusat integrasi ke organ efektor.
- 5) Efektor, dapat berupa serabut otot atau sel kelenjar yang merespon impuls secara khusus yaitu dengan kontraksi otot atau dengan sekresi kelenjar.

Refleksi yang melibatkan otot-otot tubuh merupakan refleksi spinal yang berpusat di sumsum tulang belakang. Kebanyakan refleksi spinal terjadi tanpa keterlibatan pusat-pusat otak yang lebih tinggi. Tetapi sebagian dari refleksi spinal membutuhkan aktivitas otak untuk dapat berlangsung sempurna<sup>(9)</sup>.

Umumnya otak "diberitahu" mengenai aktivitas sebagian besar refleksi spinal tersebut sehingga dapat memberi 'fasilitasi' (kemudahan) ataupun 'inhibisi' (hambatan). Bahkan sinyal fasilitas dari otak seringkali diperlukan secara kontinyu untuk berlangsungnya aktivitas sumsum tulang belakang yang normal<sup>(6)</sup>.

Untuk berfungsi normal otak secara kontinyu harus mendapat masukan tentang keadaan terakhir otot-otot dan otot tersebut mempunyai tonus (ketegangan otot) yang normal. Ketegangan otot tergantung dari refleksi peregangan yang ditimbulkan oleh kumparan otot yang memonitor panjang otot. Kumparan otot merupakan bangunan khusus terdiri atas serabut otot kecil-kecil (kurang dari seperempat panjang otot ditempat ia berada), jumlahnya 3-10 dan terbungkus jaringan pengikat (Gambar 9.8.). Kumparan ini memberi masukan ke otak lewat serabut aferen tipe Ia dan II dan diatur oleh otak lewat serat *eferen gamma* yang muncul dari neuron motorik kecil-kecil di *cornu anterior medulla spinalis* (tanduk depan sumsum tulang belakang). Kerja otot kita diatur baik langsung maupun lewat kumparan otot. Rangsang langsung ke otot menimbulkan kontraksi, sedangkan rangsang ke kumparan otot mengatur ketegangan dan sensitivitas kumparan tersebut selama kontraksi, sehingga otak selalu mendapat masukan tentang kondisi ketegangan otot atau tonus otot<sup>(7)</sup>.



Gambar 9.8. Kumparan otot (Ketegangan otot tergantung dari refleks peregangan yang ditimbulkan oleh kumparan otot yang memonitor panjang otot)<sup>(7)</sup>

Karakteristik otot yang dapat dikaitkan dengan munculnya nyeri kepala tegang adalah eksitabilitas, kontraktilitas, ekstensibilitas, dan elastisitas. Eksitabilitas berarti kemampuan menerima dan merespon stimulus. Umumnya yang merupakan stimulus untuk otot adalah zat kimia seperti neurotransmitter yang dilepas sel saraf, hormon atau perubahan pH lokal. Respon yang muncul adalah impuls elektrik yang melalui sarkolema menimbulkan kontraksi sel otot<sup>(6)</sup>.

Kontraktilitas adalah kemampuan untuk memendek dengan kuat bila dirangsang secara adekuat. Ekstensibilitas adalah kemampuan untuk memanjang atau meregang. Serabut otot memendek sewaktu kontraksi tetapi dapat pula diregangkan sewaktu rileks bahkan sampai lebih panjang dari panjang otot sewaktu istirahat. Elastisitas adalah kemampuan serabut otot untuk memendek kembali keukuran semula setelah diregangkan<sup>(6)</sup>.

Sistem saraf sangat penting untuk mengaktifkan otot supaya kontraksi dan menjaga untuk tetap sehat lewat tonus otot. Otot skelet selalu digambarkan sebagai otot volunter, tetapi sebenarnya otot yang rilekspun boleh dikata selalu dalam keadaan kontraksi ringan, suatu fenomena yang disebut sebagai tonus otot (ketegangan otot). Tonus otot tidak menimbulkan gerak aktif, tetapi menjaga otot supaya tetap kuat, sehat dan siap untuk merespon stimulus. Tonus otot skelet membantu stabilisasi sendi dan membantu mempertahankan postur. Tonus ini dipelihara lewat lintasan refleks spindel yang cukup kompleks seperti telah dijelaskan di atas<sup>(9)</sup>.

Salah satu pemicu nyeri kepala tegang adalah stres okupasi. Seseorang dapat bekerja dengan posisi tubuh tertentu yang berlebihan pada satu jangka waktu tertentu. Posisi tubuh tertentu artinya semua posisi tubuh mengalami *straining* (ketegangan berlebihan) dari otot-otot khususnya otot-otot bagian belakang leher. Otot-otot bagian belakang leher seperti *m.splenius capitis*, *m.longissimus cervicis*, *m.semispinalis cervicis* dan *m.trapezius* saat itu sudah dengan ketegangan atau tonus tertentu, untuk melawan gravitasi dari tengkorak kepala. Untuk mempertahankan posisi tubuh atau kepala yang mungkin tidak benar, misalkan sewaktu bekerja dengan komputer, otot yang sudah lebih eksitabel karena peregangan lama akan memberi rangsang kumpanan dan secara refleks memicu otot untuk kontraksi atau spasme yang sifatnya berlebihan. Bila kondisi ini berkepanjangan, maka penarikan yang terlalu kuat pada tempat perlekatan otot yaitu di periosteum daerah tulang tengkorak kepala bagian belakang akan menimbulkan sensasi nyeri karena terjadinya reaksi radang terhadap stres mekanik. Spasme otot yang terjadi secara refleks ditambah dengan *iskhemi intramuskuler* yang kemudian akan terjadi menimbulkan sensasi tegang disertai rasa sakit<sup>(4,7,10)</sup>.

Banyak penelitian menunjukkan kaitan erat antara nyeri kepala tegang dengan maladaptasi faktor lingkungan (*stressfull life circumstances*), faktor kecemasan, dan depresi. Faktor kecemasan akan menurunkan ambang nyeri dan toleransi terhadap nyeri sehingga lingkaran setan yang kemudian memunculkan nyeri kepala tegang lebih mudah terbentuk<sup>(11,12,13)</sup>.

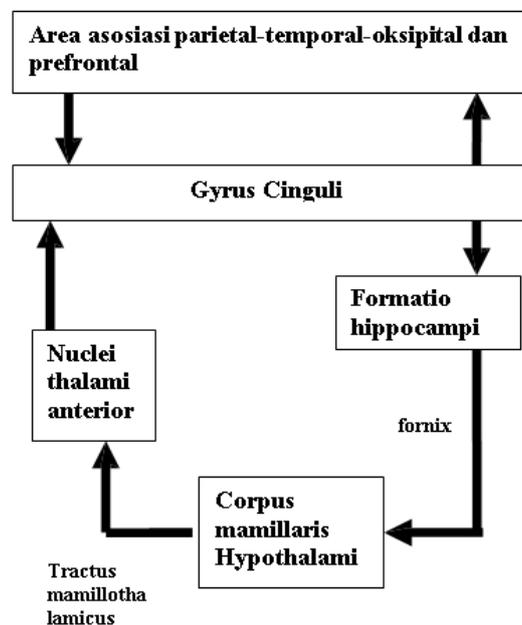
Sistim limbik memiliki peran baik pada fungsi afektif maupun kognitif. Pada satu sisi sistim ini berhubungan dengan emosi dan pengaturan sistim saraf otonom. Di sisi lain sistim limbik juga berperan pada fungsi memori dan belajar. Menurut Papez fungsi kognitif mempengaruhi emosi dan konsekuensi viseralnya lewat lintasan yang kompleks (sekarang disebut *sirkuit Papez*) yang menghubungkan area-area asosiasi dari korteks otak dengan hipotalamus (*hypothalamus*)<sup>(14)</sup>.

Sistim limbik secara deskriptif anatomis terdiri atas *lobus limbicus* dan beberapa struktur yang lebih dalam. *Lobus limbicus* merujuk pada bangunan yang secara filogenetik berasal dari *gyri cortex primitif* dan melingkungi bagian atas batang otak seperti cincin. *Lobus limbicus* ini terdiri atas *gyrus parahippocampalis*, *gyrus cinguli*, *gyrus subcallosus*, dan struktur kortikal di bawahnya yaitu *formatio hippocampi* yang terdiri atas *hippocampus*, *gyrus dentatus* dan *subiculum*<sup>(15)</sup>.

Pada tahun 1937 James Papez menyatakan bahwa *lobus limbicus* membentuk sirkuit

neural yang merupakan substrat anatomi untuk emosi, sedangkan hipotalamus mempunyai peran penting untuk ekspresinya. Menurut Papez pengaruh-pengaruh kortikal akan mencapai hipotalamus melalui hubungan *gyrus cinguli* dengan *formatio hippocampi*. *Formatio hippocampi* akan memproses informasi yang masuk dan kemudian memproyeksikannya lewat *fornix* ke *corpus mamillaris hypothalami*. Sebaliknya hipotalamus akan memberikan informasi balik ke *gyrus cinguli* lewat lintasan antara *corpus mamillaris* dan *gyrus cinguli*<sup>(10)</sup>. Paul MacLean pada tahun 1955 memperluas konsep sistim limbik dari Papez dengan mengikutkan beberapa struktur lain yaitu *area septalis* (bagian dari *hypothalamus*), *nucleus accumbens* (bagian dari *corpus striatum*) dan *cortex orbitofrontalis* serta *amygdala* (struktur subkortikal pada ujung *lobus temporalis*). Bagian dari sistim limbik yaitu *formatio hippocampi* dan *amygdala* ternyata mempunyai hubungan yang luas dengan *neocortex* (khususnya korteks asosiasi), karena itu dapat menjelaskan kaitan antara pikiran (kognisi) dan emosi<sup>(15)</sup>.

Hipotalamus yang salah satu fungsinya adalah mengendalikan kelenjar *hypophyse* terletak disebelah atas belakang *hypophyse*, dan dihubungkan oleh bangunan seperti tangkai disebut *infundibulum*. Secara kasar hipotalamus dapat dibagi menjadi 3 regio yaitu *medial*, *lateral* dan *periventrikuler*.

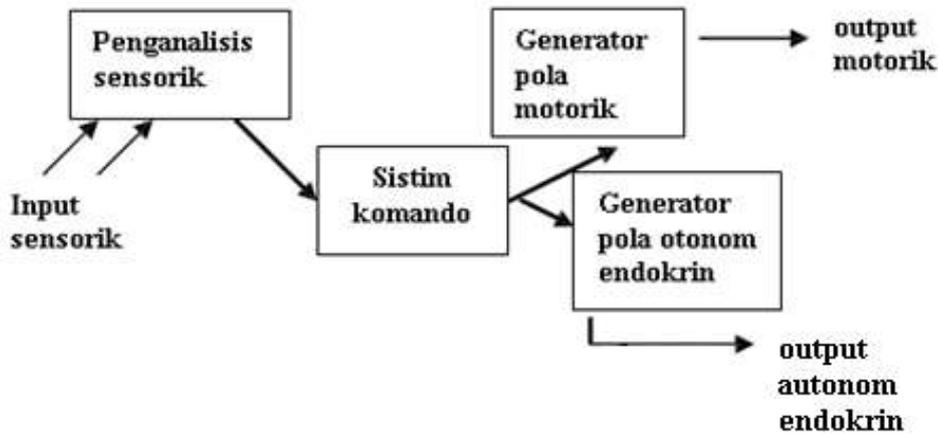


Gambar 9.9. Sirkuit neural untuk emosi dari Papez (Menghubungkan area-area asosiasi dari korteks otak dengan hipotalamus, sehingga fungsi kognitif dapat mempengaruhi emosi dan konsekuensi viseralnya)<sup>(14)</sup>

Beberapa kelompok sel dalam hipotalamus mensekresi peptid. Sebagian peptid ini dilepas langsung dalam sirkulasi lokal atau sistemik, dan berfungsi sebagai hormon yang bekerja pada reseptor spesifik yang berada di sel-sel yang jauh. Peptid yang lain dilepas dalam celah sinaptik dan berfungsi analog sebagai substansi neurotransmitter. Peptid neuroaktif dimanapun ia dilepaskan cenderung bekerja untuk jangka waktu lama dan berfungsi sebagai modulator, mengendalikan eksitabilitas saraf dan efektivitas kerja di sinaps. Kemampuan kerja jangka panjang ini diduga sangat penting untuk berbagai fungsi perilaku, termasuk untuk modulasi *mood*, status motivasi, dan belajar. Sebagian lain dari neuron peptidergik hipotalamus menuju ke struktur sistim limbik dan sistim saraf otonom<sup>(16)</sup>.

Observasi pada binatang menunjukkan bahwa hipotalamus merupakan pusat koordinasi yang mengintegrasikan berbagai masukan sedemikian sehingga dihasilkan satu set respon-respon baik endokrin, otonom dan motorik yang tepat, terorganisasi dengan baik dan berkaitan satu sama lain. Mereka juga menunjukkan bahwa hipotalamus mengintegrasikan dan mengkoordinasi ekspresi perilaku yang muncul dari satu kondisi emosi. Otak depan dianggap penghubung hipotalamus dengan dunia luar sedemikian sehingga timbul ekspresi otonom dan endokrin yang sesuai dengan emosi sebagai respon terhadap dunia luar. Otak depan juga mengatur mekanisme neural untuk mengarahkan respon skeletomotor terhadap peristiwa dunia luar, sehingga umpamanya suatu obyek itu memang perlu didekati atau dijauhi. Otak depan juga dikatakan penting untuk kesadaran pengalaman emosi<sup>(17)</sup>.

Pengalaman hidup yang diterima sebagai stres mental atau pun stres fisik seperti telah disebutkan di atas setelah diterima pusat-pusat asosiasi di korteks dan dikorteks prefrontal (keduanya adalah penganalisis sensorik) diproyeksikan ke sistim limbik. Setelah diproses kemudian melalui jaras-jaras tertentu diproyeksikan ke hipotalamus (sistim komando) yang akan mengekspresikannya lewat jalur otonom maupun endokrin (generator pola otonom dan endokrin) dan jalur somatomotor (generator pola motorik).



Gambar 9.10. Organisasi neural pada respon terhadap stres<sup>(12)</sup>

Mikkelson dkk menyebutkan bahwa gejala nyeri terkait dengan sistim otot-rangka sangat berkaitan dengan gejala psikologik yaitu gejala depresi<sup>(18)</sup>. Sedangkan Barsky dan May menemukan bahwa keluhan nyeri kepala umumnya ada bersama dengan gejala lain seperti kecemasan, depresi, gangguan gastrointestinal seperti dispepsia non-ulkus, *irritable bowel syndrome*, napas pendek, iritabilitas, palpitasi<sup>(13)</sup>. Widiastuti-Samekto dalam studinya juga menjumpai bahwa nyeri kepala tegang dikeluhkan bersama keluhan lain yang merupakan bagian gejala cemas juga yaitu hiperaktivitas otonom seperti berkeringat berlebihan pada telapak tangan dan kaki (*hiperhidrosis*), berdebar-debar (palpitasi), gangguan gastrointestinal (nyeri ulu hati), nyeri dada non kardiak dan hipereksitabilitas saraf sensorik seperti semuten pada kedua belah tangan dan kaki<sup>(19)</sup>. Secara neurofisiologik keadaan dengan kecenderungan ketegangan otot yang tinggi disebut juga *spasmophilia*, karena si penyandang akan mudah mengalami ketegangan otot (di daerah tubuh manapun), terutama yang sudah mempunyai tonus yang relatif tinggi karena bertugas mempertahankan postur tubuh: nyeri kepala tegang, nyeri leher, nyeri punggung bawah, bahkan kram berkepanjangan pada tangan dan kaki (*carpopedal spasme*). Dengan alat EMG ternyata penyandang *spasmophilia* menunjukkan hipereksitabilitas saraf. Stimuli elektrik yang kekuatannya umum akan menimbulkan amplitudo gelombang potensial yang sangat meningkat dibandingkan rata-rata<sup>(19,20,21)</sup>. Di samping itu pada pemeriksaan khusus dengan lengan dibuat iskemik selama 10 menit, perekaman otot pada tangan akan menimbulkan gelombang-gelombang potensial berulang (*repetitive wave potentials*) yang disebut gelombang potensial multiplet<sup>(22)</sup>.

Hasil penelitian Widiastuti-Samekto menunjukkan bahwa hipereksitabilitas saraf

tepi memang berkaitan dengan munculnya nyeri kepala tegang ( rasio prevalensi 2.64; C.I. 95%: 1.51-4.6)<sup>(23)</sup>. Bila dibedakan antara pria dan wanita ternyata kelompok pria dengan saraf yang hipereksitabel menunjukkan kecenderungan 4,7 kali nyeri kepala tegang dibandingkan dengan kelompok tanpa hipereksitabilitas saraf; pada wanita angka ini menunjukkan hanya 4,1<sup>(19)</sup>.

Rupanya respon nyeri kepala tegang memang dilandasi oleh suatu keadaan "hipereksitabel" terkait dengan fungsi kognitif, emosi dan ekspresi perilaku dari otak yang sifatnya genetik. Sesuai dengan pembahasan diatas ekspresi yang dikordinasi oleh hipotalamus diwarnai oleh emosi yang berasal dari sistim limbik. Unsur kecemasan dikatakan berasal dari *hippocampus lobus temporalis* kiri yang merupakan bagian dari sistim limbik. Juga dikatakan bahwa abnormalitas didaerah ini dapat menimbulkan hiperemosional. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa unsur "hiper" diproyeksikan dari sistim limbik ke hipotalamus, yang selanjutnya sebagai unsur komando meneruskan ke generator pola motorik. Sistim limbik ini juga memberi umpan balik ke korteks, maka dapat diantisipasi bahwa unsur "hiper" juga dapat direkam dari korteks. Hipereksitabilitas saraf tepi ternyata juga berhubungan secara bermakna dengan hipereksitabilitas EEG (*electroencephalogram*) yang menggambarkan fungsi kortikal otak<sup>(23,24)</sup>.

Keadaan hipereksitabilitas yang terkait dengan gejala cemas ini menurut beberapa penelitian ada hubungannya dengan aktivitas serotonin yang berlebihan dalam area otak yang penting seperti *nuclei raphe*, *thalamus*, sistim limbik, hipotalamus dan *ganglia basalis*<sup>(11,15)</sup>.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa nyeri kepala tegang dikeluhkan bersama keluhan lain yang menunjukkan hiperaktivitas otonom yaitu: berkeringat berlebihan pada telapak tangan dan kaki (hiper- hidrosis), palpitasi, gangguan gastrointestinal (nyeri ulu hati), nyeri dada non kardiak. Gejala-gejala ini sebenarnya merupakan ekspresi perilaku juga yang diatur oleh hipotalamus lewat jalur sistim saraf otonom<sup>(15,17,25)</sup>.

Sistim saraf otonom tidak dikendalikan secara sadar tetapi aktivitasnya dikendalikan pada beberapa tingkatan susunan saraf pusat yaitu di sumsum tulang belakang, batang otak, hipotalamus dan korteks otak. Tetapi peringkat tertinggi pengaturan adalah hipotalamus. Korteks otak dapat memodifikasi kerja sistim otonom tetapi lewat bawah sadar yaitu lewat sistim limbik ke hipotalamus. *Formatio reticularis* dalam batang otak mempunyai pengaruh langsung ke fungsi otonom. Contoh: pengaturan frekuensi detak jantung, pengaturan diameter pembuluh darah dan pernapasan serta pengaturan fungsi gastrointestinal. Tetapi

pengaturan sentralnya tetap dari hipotalamus. Hipotalamus mengandung pusat-pusat yang mengkoordinasi aktivitas jantung, tekanan darah, suhu tubuh, keseimbangan air, dan aktivitas endokrin. Demikian juga mengandung pusat-pusat yang membantu menyalurkan berbagai kondisi emosi seperti kemarahan, kesenangan, ketakutan serta dorongan biologis seperti haus, lapar, seks. Respons emosi sistim limbik otak terhadap bahaya dan stres memberi sinyal kepada hipotalamus untuk mengaktivasi sistim otonom untuk status *fight-or-flight* (berkelahi atau melarikan diri). Karena itu unsur aktivitas motorik umumnya selalu didampingi unsur aktivitas otonom<sup>(11,16,24)</sup>.

Otot skelet yang terlibat dalam gerak involunter (gerak yang tak disadari) dikendalikan oleh sistim motorik somatik. Sistim motivasional bekerja melalui sistem motorik somatik tetapi juga melalui sistim otonom yang mengendalikan kelenjar endokrin dan eksokrin, organ dalam dan semua otot polos pada semua organ dalam. Sistim otonom mempunyai 2 divisi yaitu simpatis dan parasimpatis. Keduanya penting untuk mediasi keadaan emosi maupun motivasi serta untuk memonitor fisiologi dasar tubuh. Pada nyeri kepala tegang dengan hiperaktivitas otonom, dapat dijumpai peningkatan fungsi simpatis seperti palpitasi, tekanan darah yang mendadak meningkat; atau peningkatan parasimpatis yaitu hiperhidrosis palmaris, nyeri epigastrik karena sekresi asam yang berlebihan<sup>(24,26)</sup>.

### **IX.3. Pengaruh *Muscle-Tendon Unit* dan Lesi *Upper Motor Neuron* terhadap Tonus Otot**

Otot rangka dalam tubuh selalu dalam keadaan berkontraksi sebagian yang disebut tonus otot. Impuls saraf dari *medulla spinalis* menjalar ke serabut otot untuk mempertahankan keadaan kontraksi tetanik pada sekitar 10% serabut otot dengan dasar yang tetap berotasi. Selain itu derajat tonus otot bergantung pada informasi yang didapat dari reseptor otot yang disebut *spindel* otot (*muscle spindle*), yang merasakan jumlah kekuatan kontraksi dan menghantarkan informasi ke *medulla spinalis*. Oleh karena itu, Ketegangan dapat dipertahankan dengan adanya kontraksi dan relaksasi yang bergantian melalui kerja otot dan berbagai faktor yang mempengaruhi tingkat ketegangan yang dihasilkan. Faktor-faktor tersebut mencakup frekuensi rangsangan, panjang serat pada permulaan kontraksi, tingkat kelelahan dan ketebalan serat<sup>(27)</sup>

Derajat tonus otot bergantung pada informasi yang didapat dari reseptor otot yang disebut *spindel* otot, yang merasakan jumlah kekuatan kontraksi dan menghantarkan informasi ke *medulla spinalis*. Tonus otot sangat penting pada otot *postural* (penopang tubuh). Tonus juga menghasilkan panas tubuh.

Ada 2 organ sensori dari *muscle-tendon unit* yang berperan pada saat otot mendapat peregangan yaitu *muscle spindle* dan *golgi tendon organ*. Kedua organ tersebut merupakan *mechanoreceptor* yang menyampaikan informasi ke system saraf pusat tentang apa yang terjadi pada *muscle-tendon unit* dan memberikan respon pada otot saat terjadi peregangan<sup>(28)</sup>.

#### a. *Muscle Spindle Organ*

*Muscle spindle organ* adalah salah satu organ sensori yang besar dari *muscle unit* dan sensitifnya cepat terhadap peregangan. Fungsi utama dari *muscle spindle* adalah menerima dan menyampaikan tentang perubahan panjang otot dan *velocity* dari perubahan pemanjangan<sup>(28)</sup>.

Bagian-bagian dari *muscle spindle* diantaranya *afferent sensory fibers ending*, *efferent motor fibers ending*, dan *intrafusul fibers (muscle fibers)*. *Intrafusul* dan *extrafusul* adalah penyusun utama dari *skeletal muscle*. *Intrafusul muscle fiber* berhubungan dengan *extrafusul muscle fiber* pada bagian ujung-ujung dari *intrafusul*. Ketika otot mendapat peregangan bagian *intrafusul muscle fiber* yang terstimulasi dan hanya pada bagian ungu-ujungnya terstimulasi, sedangkan bagian central tidak terstimulasi. Jika bagian central terstimulasi maka akan menimbulkan efek kontraksi memanjang pada otot tersebut<sup>(28)</sup>.

*Intrafusul muscle fiber* dipersarafi oleh *gamma motor neuron*. Sedangkan *extrafusul muscle fiber* dipersarafi oleh *alpha motor neuron*. Pada *muscle fiber* terdapat 2 tipe yaitu *type Ia fiber (primary stretch receptor)* dan *type II fiber (secondary stretch receptor)*. *Type Ia fiber* sensitive terhadap gerakan cepat dan menstimulasi peregangan *muscle fiber type tonic*, sedangkan *type II fiber* hanya menstimulasi *muscle fiber type tonic*<sup>(28)</sup>.

#### b. *Golgi Tendon Organ (GTO)*.

GTO adalah organ sensori yang letaknya dekat dengan *musculotendinous junction* pada *extrafusul muscle fiber*. Fungsi dari GTO adalah untuk memonitor perubahan *tension* dari *muscle-tendon units*. Organ tersebut terbentuk dari anyaman- anyaman kolagen dan memberikan informasi sensori melalui serabut saraf Ib. Sensoris organ ini sensitif terhadap perubahan tegangan pada *muscle-tendon unit* baik pada saat gerakan peregangan pasif maupun kontraksi secara aktif selama gerakan normal. Ketika tegangan otot berlebih, maka GTO aktif menghambat aktifitas dari *alpha motor neuron* dan menurunkan tegangan dari *muscle-tendon unit* yang diregang sebagai bentuk dari mekanisme proteksi diri<sup>(28)</sup>.

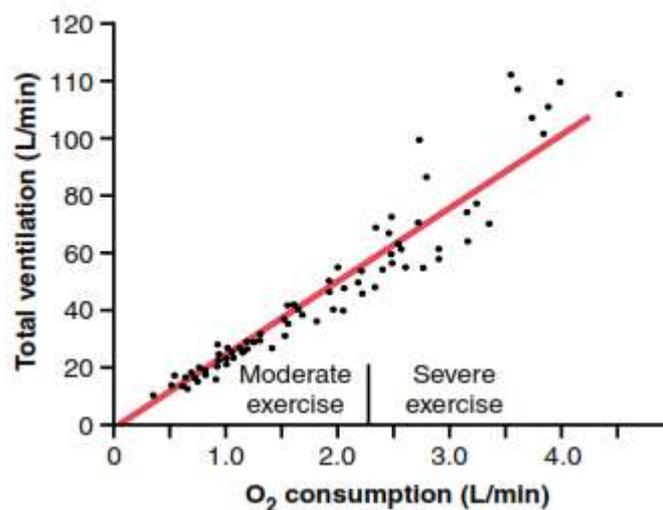
Tonus otot dapat meningkat atau yang disebut hipertonus disebabkan oleh peningkatan eksibilitas *muscle stretch reflex* oleh kedua organ sensori dari *muscle-tendon*

unit selain dari lesi *upper motor neuron* (UMN). Refleks tersebut merupakan salah satu refleks fisiologis dan dapat disebut juga sebagai refleks tendon atau refleks dalam.

Peningkatan eksibilitas yang berlebihan pada refleks tersebut dapat memicu terjadinya spastisitas. Lesi UMN dapat menyebabkan kehilangan *control volunteer*, peningkatan tonus otot, spastisitas otot, reflex hiperaktif dan abnormal, tanpa disertai atrofi otot. Kerusakan ini menyebabkan terjadinya penurunan neurotransmitter GABA Ia presinap dan meningkatkan eksitabilitas  $\alpha$  *motorneuron*<sup>(29,30)</sup>. Lesi UMN pada traktus piramidalis menimbulkan penurunan refleks tendon sisi kontralateral untuk waktu singkat. Setelah terjadi penurunan refleks tendon sisi kontralateral, kemudian diikuti oleh peningkatan refleks tersebut. Hal ini juga diikuti oleh peningkatan tonus otot sehingga menyebabkan spastisitas. Pada kondisi yang lebih serius seperti koma gejala lain yang menyertai adalah demam, gelisah, kejang, muntah, retensilendir atau sputum di tenggorokkan, retensi atau inkontinensia urin, hipertensi, hipotensi, takikardi, bradikardi, takipnea, dispnea, edema fokal atau anasarka, ikterus, sianosis, pucat, perdarahan subkutis, dan sebagainya<sup>(30)</sup>.

#### IX.4. Pengaturan Pernapasan Selama Latihan Fisik

Pada kerja fisik berat, pemakaian oksigen dan pembentukan karbondioksida dapat meningkat sampai 20 kali lipat. Ternyata seperti yang dilukiskan pada gambar 9.11., pada seorang atlet yang sehat, ventilasi alveolus biasanya meningkat hampir sama dengan langkah-langkah peningkatan metabolisme oksigen.  $PO_2$ ,  $PCO_2$  dan pH arteri tetap hampir mendekati normal<sup>(24)</sup>.

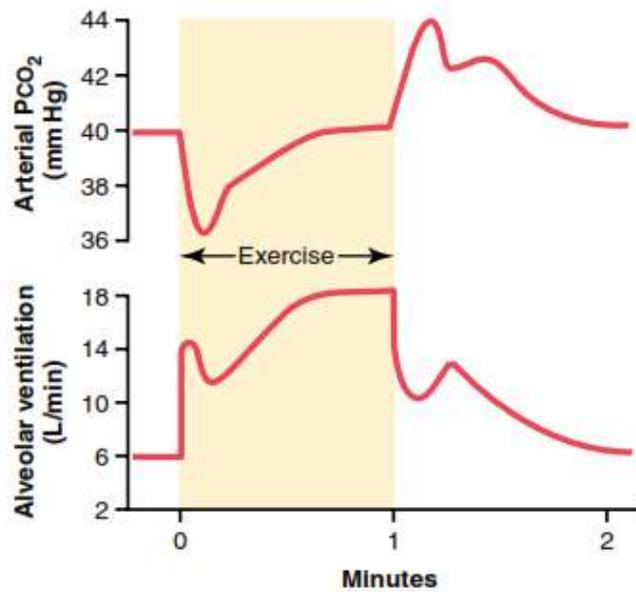


Gambar 9.11. Pengaruh latihan pada konsumsi oksigen dan tingkat ventilasi<sup>(24)</sup>

Dalam usaha untuk menganalisis apa yang menyebabkan peningkatan ventilasi selama latihan fisik, kita tertarik untuk menganggap hal ini berasal dari peningkatan karbondioksida dan ion hidrogen, serta penurunan oksigen darah. Tetapi hal ini masih dipertanyakan karena pengukuran  $PO_2$ ,  $PCO_2$ , dan pH arteri memperlihatkan bahwa tidak tidak satupun dari ketiga nilai ini berubah secara bermakna selama latihan fisik, sehingga tidak satupun menjadi cukup abnormal untuk merangsang pernapasan demikian kuatnya seperti yang diamati selama kerja fisik berat. Paling tidak ada satu efek yang tampak dominan menyebabkan giatnya ventilasi selama kerja fisik berat. Otak, ketika mengirimkan impuls motorik ke otot yang sedang bekerja diyakini mengirimkan impuls kolateral ke batang otak pada saat yang sama untuk mengeksitasi pusat pernapasan. Hal ini analog dengan perangsangan pusat vasomotor di batang otak selama kerja fisik yang mentebatkan peningkatan tekanan arteri secara bersamaan<sup>(24)</sup>.

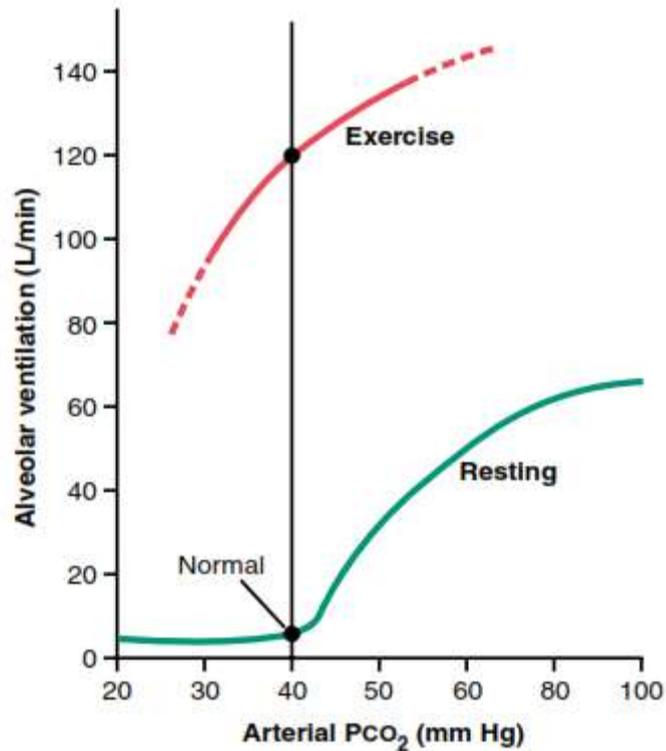
#### **IX.5. Hubungan Timbal Balik Antara Faktor Kimiawi Dan Faktor Saraf Dalam Mengendalikan Pernapasan Selama Latihan Fisik**

Bila seseorang melakukan kerja fisik, kemungkinan sinyal saraf langsung merangsang pusat pernapasan dalam tingkat yang hampir sesuai untuk penyediaan kebutuhan oksigen tambahan yang dibutuhkan selama kerja fisik, dan membuang karbondioksida ekstra. Namun kadang-kadang, sinyal saraf pengendali pernapasan terlalu kuat atau terlalu lemah. Selanjutnya, faktor-faktor kimia memegang peranan penting dalam melakukan penyesuaian akhir pernapasan, yang dibutuhkan untuk mempertahankan konsentrasi oksigen, karbondioksida, dan ion hidrogen cairan tubuh sedekat mungkin dengan konsentrasi normal. Hal ini dilukiskan dalam gambar 9.12<sup>(24)</sup>.



Gambar 9.12. Perubahan ventilasi alveolar (kurva bawah) dan PCO<sub>2</sub> arteri (kurva atas) selama periode kerja/latihan 1 menit dan juga setelah penghentian latihan<sup>(24)</sup>

Pada gambar 9.12., kurva bagian bawah memperlihatkan perubahan ventilasi alveolus selama periode kerja 1 menit dan kurva bagian atas memperlihatkan perubahan PCO<sub>2</sub>. Perhatikan bahwa pada saat kerja fisik dimulai, ventilasi alveolus hampir dengan segera meningkat tanpa didahului oleh peningkatan PCO<sub>2</sub> arteri. Kenyataannya, peningkatan ventilasi alveolus ini biasanya cukup besar sehingga pada awalnya menurunkan PCO<sub>2</sub> arteri di bawah normal, seperti yang diperlihatkan pada gambar. Dugaan alasan mengapa ventilasi mendahului peningkatan pembentukan karbondioksida dalam darah, adalah bahwa otak mengadakan suatu rangsangan “antisipasi” pernapasan pada permulaan latihan, menghasilkan ventilasi alveolus ekstra meskipun belum dibutuhkan. Namun setelah kira-kira 30 sampai 40 detik, jumlah karbondioksida yang dilepaskan ke dalam darah dari otot aktif hampir sepadan dengan peningkatan kecepatan ventilasi, dan PCO<sub>2</sub> arteri kembali normal bahkan selama kerja berlangsung, seperti yang terlihat pada akhir periode latihan 1 menit dalam gambar 9.12<sup>(24)</sup>.



Gambar 9.13. Perkiraan efek yang terjadi pada seorang atlet yang melakukan kerja maksimum untuk menggeser kurva respons ventilasi-PCO<sub>2</sub> alveolus hingga mencapai nilai yang jauh lebih tinggi daripada nilai normal. Pergeseran ini diyakini disebabkan oleh faktor neurogenik, yang hampir sama persis dengan jumlah yang tepat untuk mempertahankan PCO<sub>2</sub> arteri pada nilai normalnya 40 mmHg, pada keadaan istirahat maupun kerja berat<sup>(24)</sup>

Gambar 9.13. menyimpulkan pengendalian pernapasan selama kerja fisik dalam cara yang lain lagi, yang bersifat lebih kuantitatif. Kurva yang lebih bawah pada gambar memperlihatkan pengaruh berbagai nilai PCO<sub>2</sub> arteri terhadap ventilasi alveolus bila tubuh dalam keadaan istirahat (tidak dalam keadaan kerja). Kurva yang lebih di atas menunjukkan perkiraan pergeseran kurva ventilasi ini yang disebabkan oleh rangsangan neurogenik dari pusat pernapasan yang timbul selama latihan fisik berat. Titik yang ditunjukkan pada kedua kurva tersebut memperlihatkan PCO<sub>2</sub> arteri yang mula-mula pada keadaan istirahat dan kemudian pada keadaan latihan fisik. Perhatikan pada kedua keadaan ini, ternyata PCO<sub>2</sub> berada pada nilai normal sebesar 40 mmHg. Dengan kata lain, faktor neurogenik menggeser kurva ke arah atas sekitar 20 kali lipat, sehingga ventilasi hampir bersesuaian dengan kecepatan pelepasan karbondioksida dan dapat mempertahankan PCO<sub>2</sub> arteri mendekati nilai normalnya. Kurva bagian atas pada gambar 9.13. juga memperlihatkan bahwa jika, selama kerja, PCO<sub>2</sub> arteri berubah dari nilai normalnya 40 mmHg, maka hal ini akan memberikan

efek perangsangan ekstra terhadap ventilasi pada PCO<sub>2</sub> lebih dari 40 mmHg dan efek depresan pada PCO<sub>2</sub> kurang dari 40 mmHg<sup>(24)</sup>.

## IX.6. Pengendalian Neurogenik Terhadap Ventilasi Selama Kerja

Banyak percobaan telah menunjukkan bahwa kemampuan otak untuk menggeser kurva respons ventilasi selama kerja fisik, seperti yang tampak pada gambar 9.13., sedikitnya merupakan bagian dari respons yang dipelajari. Artinya, dengan periode latihan yang berulang-ulang, otak secara progresif menjadi lebih mampu untuk menghasilkan berbagai sinyal otak yang sesuai, yang dibutuhkan untuk mempertahankan PCO<sub>2</sub> darah pada nilai normalnya. Juga, terdapat alasan untuk mempercayai bahwa bahkan korteks serebral terlibat dalam pembelajaran ini, karena berbagai penelitian dengan melakukan hambatan hanya pada korteks, juga menimbulkan hambatan terhadap respons yang dipelajari<sup>(24)</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Fox, E. L., Bowers, R. W., Foss, M. L., 1993. *The Physiological Basis for Exercise and Sport, 5<sup>th</sup>*. Ed. Boston-USA. WCB/McGraw-Hill. p. 275-282
2. Steiner, T. J., Fontebasso, M., 2002. Headache. *BMJ*. 325: 881-86.
3. Srikiatkachorn, A., Phanthumchinda, K., 1997. Prevalence and clinical features of chronic daily headache in a headache clinic. *Headache*. 37: 277-80.
4. Marieb, E. N., 2001. *Human Anatomy and Physiology*. 5th ed. San Francisco: Benjamin Cummings.
5. Kryst, S., Scherl, E., 1994. A population based survey of the social and personal impact of headache. *Headache*. 34: 344-50.
6. Tortora, G. J., and Grabowski, S. R., 2000. *Principles of Anatomy and Physiology*. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc..
7. Cailliet, R., 1981. *Neck and Arm Pain*. 2nd ed. Philadelphia: FA.Davis Company.
8. William, P. L., Bannister, L. H., Berry, M. M., Collins, P., Dyson, M., Dussek, J. E., eds., 1995. *Gray's Anatomy: the anatomical basis of medicine and surgery*. 38th ed. New York: Churchill Livingstone; p. 789-799.
9. Widiastuti<sup>d</sup>; Samekto, M., 1992. *Anatomi dan Patofisiologi Nyeri*. Simposium Nyeri: Pengenalan dan Tatalaksana.
10. Widiastuti<sup>c</sup>; Samekto, M., 1994. *Nyeri sebagai Petunjuk Adanya Gangguan Neuromuskuloskeletal*. Buku Proceeding: Simposium Pembinaan Kesehatan dari Aspek Pelatihan Muskuloskeletal.
11. Carpenter, R. H. S., 1996. *Neurophysiology*. New York: Oxford University Press, Inc. p.206
12. Bass, C., May, S., 2002. Chronic multiple functional somatic symptoms. *BMJ* 2002. 325:323-326.
13. Barsky, A. J., Borus, J. F., 1999. Functional somatic syndromes. *Annals of Internal Medicine*. 130(11): 910-921.
14. Martin, J. H., 1985. Development as a guide to the regional anatomy of the brain. In: Kandel ER, Schwartz JH eds. *Principles of Neural Science*. 2nd ed. New York: Elsevier Science Publishing CO., Inc.; 1985. p.255-259.

15. Kupfermann, I., 1985. Hypothalamus and Limbic System: Peptidergic Neurons, Homeostasis and Emotional Behavior. In: Kandel ER, Schwartz JH eds. *Principles of Neural Science. 2nd ed.* New York: Elsevier Science Publishing CO.,Inc.p.612-625.
16. Blumenfeld, H., 2002. *Neuroanatomy through Clinical Cases*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.p. 743
17. Kandel, E. R., 1985. Brain and Behavior. In: Kandel ER, Schwartz JH eds. *Principles of Neural Science. 2nd ed.* New York: Elsevier Science Publishing CO.,Inc.; 1985. p.3-11.
18. Mikkelsen, M., Sourander, A., Piha, J., Salminen, J. J., 1997. Psychiatric symptoms in preadolescents with musculoskeletal pain and fibromyalgia. *Pediatrics J.* 100(2): 220-227
19. Widiastuti<sup>e</sup>; Samekto, M., 1998. Gangguan sistim muskuloskeletal dan saraf otonom kaitannya dengan sistem saraf tepi yang hipereksitabel. *Media Medika Indonesiana.* 33 (2): 67-72.
20. Widiastuti<sup>f</sup>; Samekto, M., 1991. EMG sebagai Alat Bantu Diagnosis Gangguan Neuromuskuler. *Pharos Bulletin.* (2): 7-12.
21. Yus, R., Widiastuti, Samekto, M., 1991. Paralisis Periodik. *Dexa Media.* 4 (3): 12-20.
22. Widiastuti<sup>g</sup>; Samekto, M., 1998. Diagnostic test of spasmophilia. *Media Medika Indonesiana.* 33(1): 25-30.
23. Widiastuti<sup>h</sup>; Samekto, M., Gamma Sitta., 2001. EEG pada individu dengan spasmodifili. *Media Medika Indonesiana.* 36(4): 195-200.
24. Guyton, A. C., 2008. *Text Book of Medical Physiology 11ed.* USA: W.B. Saunders Co.
25. Kelly, J. P., 1985. *Principles of the Functional and Anatomical Organization of the Nervous System.* In: Kandel ER, Schwartz JH eds. *Principles of Neural Science. 2nd ed.* New York: Elsevier Science Publishing CO.,Inc. p.216-220.
26. Kupfermann, I., 1985. Genes, environmental experience, and the mechanisms of behavior. In: Kandel ER, Schwartz JH eds. *Principles of Neural Science. 2nd ed.* New York: Elsevier Science Publishing CO.,Inc.p.793-804.
27. Mayou, R., Farmer, A., 2002. Functional somatic symptoms and syndromes. *BMJ,* 325: 265-68.
28. Kisner, Carolyn dan Allen Colby, Lynn., 2007. *Exercise Therapy 5th Edition.* USA: F.A. Davis Company.
29. Longstaff, A., 2000. *Motor Disorder In Neuroscience.* New York: BIOS Scientific Publisher Limited, 229-332.
30. Mardjono, M., 2000. *Neurologi Klinis Dasar.* Jakarta: Dian Rakyat. 20-29.