

## **MODUL TEMU 5 FISIOLOGI LATIHAN SISTEM SARAF**

**Abdurrasyid, S.ST, M. Fis**

Sistem saraf merupakan dasar komunikasi dalam tubuh untuk mengaktifkan kerja system fisiologis tubuh seperti pada neuromuscular, neuroendokrin, atau neurovascular. Fungsi dasar system saraf adalah menerima, memproses, mengintegrasikan, dan merespon menjadi satu informasi baik yang diterima dari internal dan eksternal tubuh. Komunikasi antar saraf terjadi sangat cepat agar dapat segera direspon pada tingkat jaringan untuk segera berfungsi sesuai dengan rangsangan yang diberikan.

System saraf bekerja dibawah sadar, memori, sensasi, persepsi, reflex, dan gerakan tubuh. Untuk menjaga kerja tubuh system saraf harus mampu memberikan respon rangsangan baik dari internal dan eksternal tubuh guna mempertahankan keadaan homeostasis kehidupan jaringan.

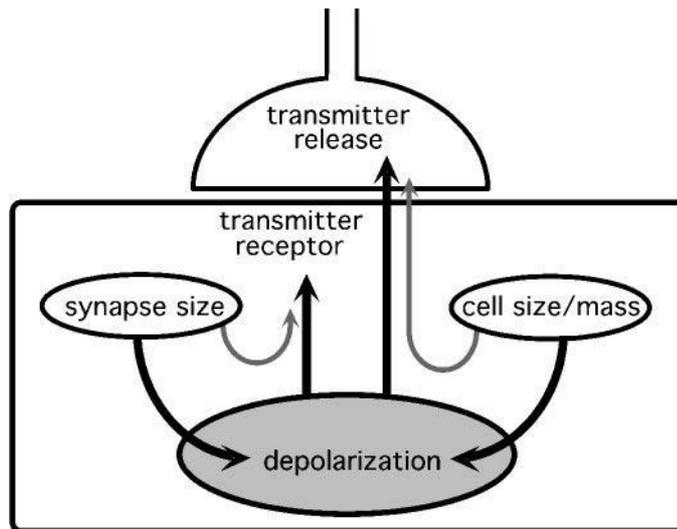
### **A. Homeostasis**

Homeostasis adalah kemampuan organ atau sel untuk mempertahankan keseimbangan internal dengan mengatur fungsi fisiologis hingga batas kemampuan fisiologis baik saat istirahat maupun latihan. Homeostasis adalah salah satu proses seluler paling dasar di mana sel merespon perubahan lingkungan intraseluler atau ekstraseluler dan mempertahankan fisiologi yang konstan.

Latihan akan meningkatkan kerja homeostasis tubuh dengan mengubah kerja fisiologis seperti meningkatnya suhu tubuh, merubah keseimbangan asam-basa tubuh, hipohidrasi, merubah tekanan darah, dan gula darah. Untuk mengatasinya perlu kerja saraf yang optimal agar tidak ada ketidakseimbangan fungsi tubuh terhadap respon latihan. Otomatisasi kerja saraf ini ditujukan guna mempertahankan fungsi sel, merespon rangsangan baik internal dan eksternal, dan mampu memberikan kompensasi gangguan sesuai dengan tingkat eksitasi sel.

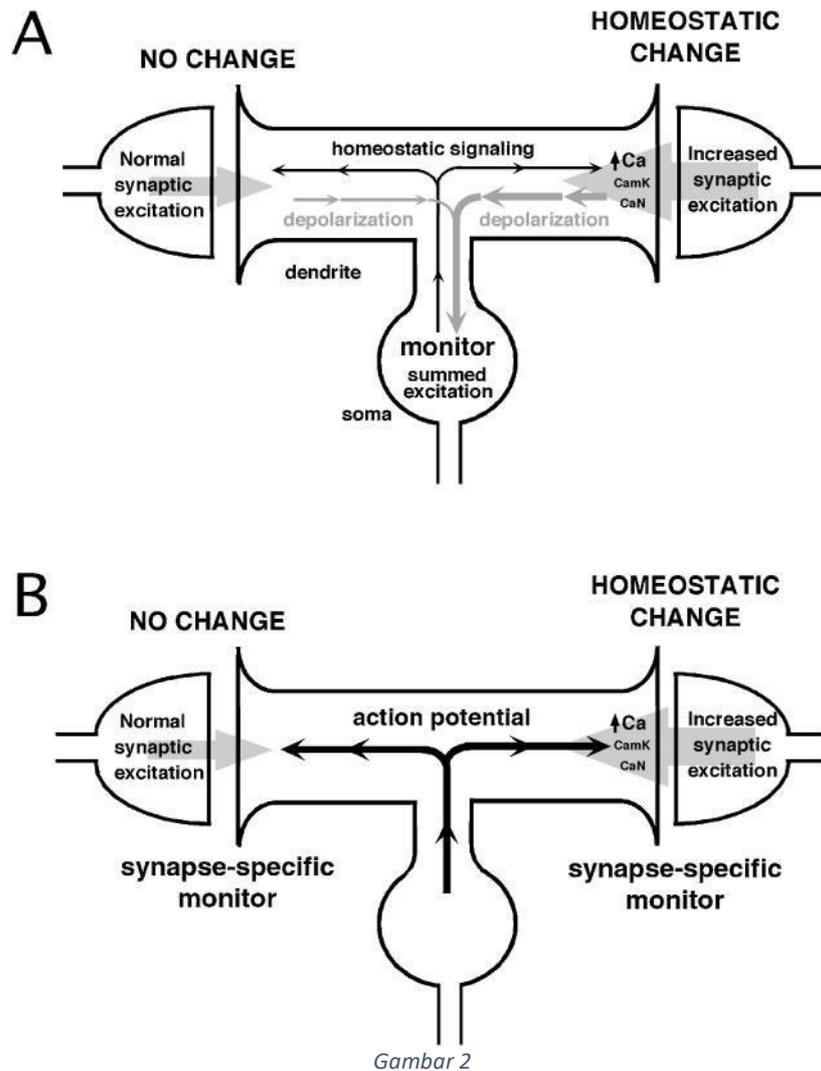
Mekanisme kompensasi diatur dari **ukuran sinaptik, kekuatan sinaps dan fungsi saluran membrane tempat bertukarnya ion dalam membrane plasma.** Dalam mempertahankan homeostasis, saraf berfungsi untuk mengendalikan rangsangan dan mengetahui informasi akan aktivitas sel, dan ukuran sel dalam system sinyal intrasel saraf.

System pengaturan homeostasis dalam tubuh terjadi pada drosophila neuromuscular junction (NMJ). System ini bertanggung jawab akan proses depolarisasi yang terjadi antara sinaps dengan NMJ pada otot. Sehingga akan terjadi asimiliasi ukuran sinaps dan sel otot arena ada pengaturan respon negative dan positif.



Gambar 1. Pengaturan homeostasis dalam *drosophila neuromuscular junction* terhadap depolarisasi.

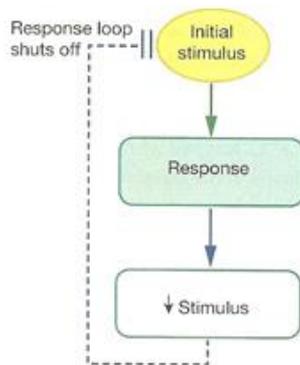
Pada gambar 2 menjelaskan tentang diagram proses. (A) jumlah eksitasi akan dimonitor didalam soma, kemudian proses Depolarization ditransmisikan ke soma melalui propagasi dendrit baik secara pasif maupun aktif. Sinyal homeostasis kemudian dikirim kembali ke dendrites dalam cara yang seragam, tetapi mereka hanya menghasilkan perubahan peraturan di sinaps dengan tidak pantas sinaptik aktivitas [peningkatan sinaptik eksitasi (kanan)]. Situs aktivitas sinaptik tidak pantas dapat diakui oleh sinyal homeostatik karena lokal kalsium tergantung signaling, berpotensi di-volving aktivitas Cam kinase atau calcineurin. (B) model alternatif mengusulkan bahwa informasi disimpulkan eksitasi dipantau melalui belakang yang menyebarkan potensi tindakan. Aktivitas sensor di setiap sinaps (khusus sinaps monitor) bisa mencapai homeostatik perubahan melalui perbandingan vs sinaptik potensial aksi aktivitas di sinaps setiap individu.



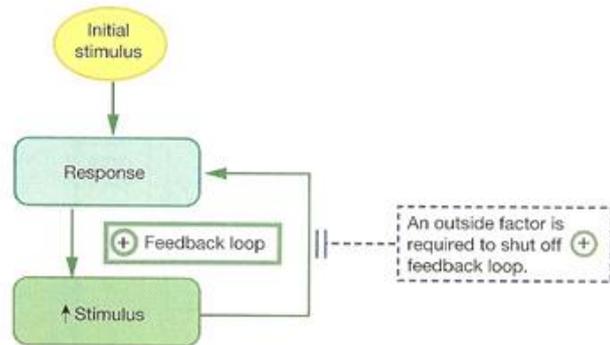
Gambar 2

Jenis sistem umpan balik yang digunakan dalam komunikasi antar sistem saraf yang terjadi hampir disetiap sistem organ di seluruh tubuh adalah sistem umpan balik yang paling umum disebut "lingkar umpan balik positif dan negatif." Dalam istilah sederhana, lingkaran umpan balik yang positif dapat mempromosikan atau meningkatkan proses. Sebagai contoh, selama latihan akan terjadi peningkatan keasaman yang diproduksi oleh otot. Jika tingkat aktivitas otot ditingkatkan, akan mengakibatkan keasaman yang lebih tinggi dan terjadi peningkatan aliran darah. Sebaliknya, lingkaran umpan balik negatif, adalah proses mengurangi intensitas dengan upaya untuk mengembalikan kondisi homeostasis ke awal status quo. Sebuah contoh yang baik dari lingkaran umpan balik negatif adalah mekanisme berkeringat yang diaktifkan selama latihan. Aktivitas otot yang berkepanjangan akan meningkat panas yang dihasilkan oleh otot rangka dan menaikkan suhu tubuh. Untuk melawannya dan mencegah tubuh dari overheating, terjadilah proses berkeringat, yang menyebabkan penguapan panas diturunkan dengan adanya efek pendinginan dari keringat. Berbagai sistem umpan balik berada di tempat untuk mengatur fungsi fisiologis pada saat istirahat, selama latihan, dan dalam pemulihan

(a) **Negative feedback:** the response counteracts the stimulus, shutting off the response loop.



(b) **Positive feedback:** the response reinforces the stimulus, sending the variable farther from the setpoint.



**FIGURE 6-27** Negative and positive feedback  
Gambar 3

## B. Komponen sel saraf

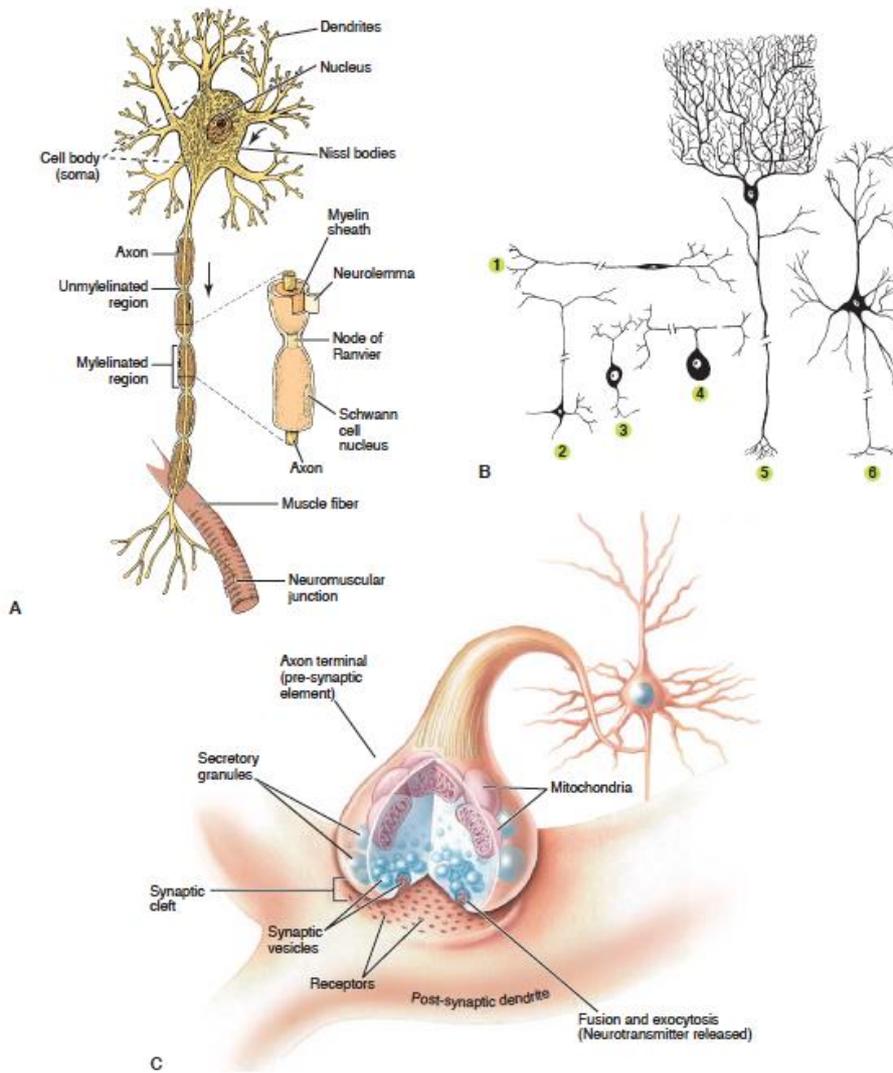
Sel saraf berfungsi untuk mentransmisikan kelistrikan tubuh melalui sel saraf. Sel saraf terdiri dari Dendrit, Tubuh sel (cell Body), dan Axon. Dalam tubuh sel berisikan nucleus, mitokondria, ribosom, dan komponen sel lainnya. Dendrit berfungsi untuk menerima informasi rangsangan dan meneruskannya ke dalam tubuh sel untuk diproses. Sinyal akan dikeluarkan dari tubuh sel mengarah ke axon dan diteruskan ke sel saraf lainnya hingga mencapai target jaringan yang dituju (seperti otot). Besaran impuls yang dikirimkan ke akson sama dengan besaran yang diterima oleh dendrit. Setiap besaran impuls rangsangan akan menjadi arus kelistrikan yang disebut dengan “potensial aksi” untuk dapat diterima oleh jaringan.

Secara struktur saraf dibentuk dan berukuran berbeda-beda. Ada tiga tipe dasar saraf, yaitu multipolar, pseudounipolar, dan bipolar. Saraf multipolar memiliki kemampuan untuk memproses impuls lebih dari satu (multiple) dengan banyak dendrit, satu tubuh sel, dan satu akson. Pseudounipolar berfungsi utama pada sistem sensoris. Saraf bipolar memiliki satu akson dan satu dendrit berfungsi sebagai sensoris yang ditemui dalam retina.

Banyak tipe saraf dalam tubuh yang memiliki kemampuan untuk membuat dan mentransmisikan informasi rangsangan melalui kelistrikan. Tiga kelas klasifikasi saraf sebagai berikut:

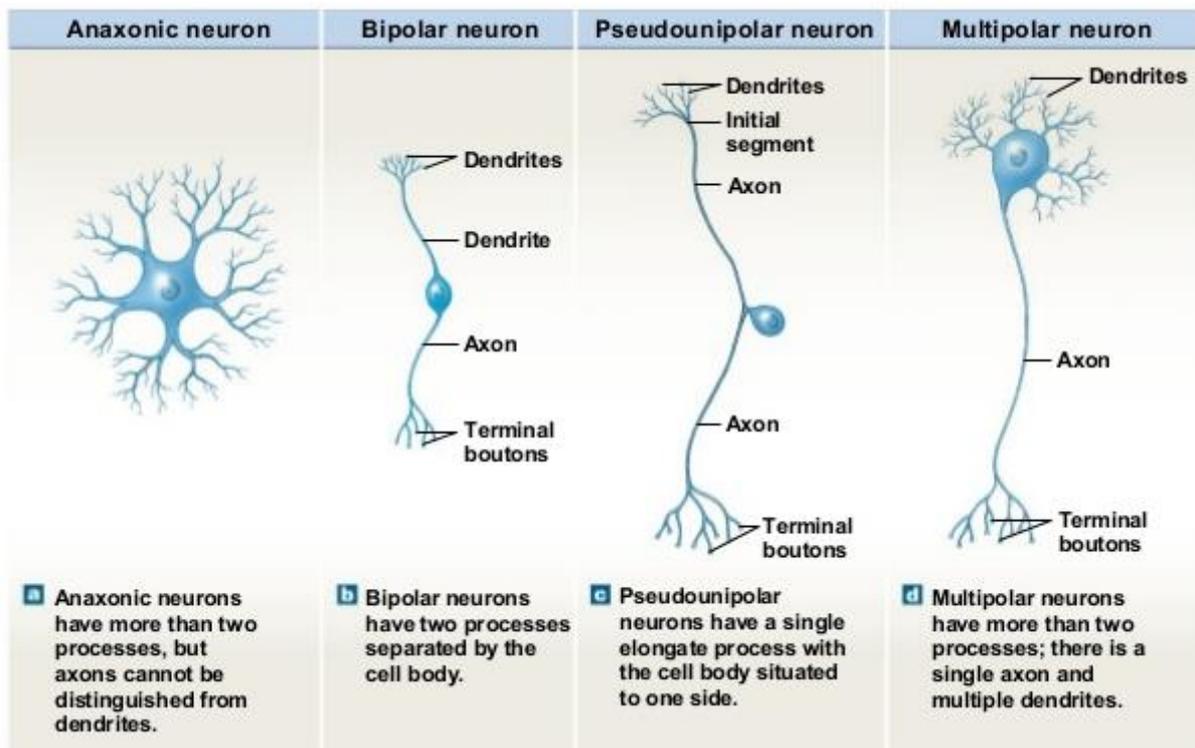
1. Saraf aferen
  - a. Mentransmisikan informasi ke dalam saraf dari reseptor.
  - b. Tidak memiliki dendrit
  - c. Proses berlangsung lama pada akson sistem saraf perifer dan proses rangsangan berlangsung singkat pada akson sistem saraf pusat.
2. Saraf eferen
  - a. Mentransmisikan informasi keluar dari sistem saraf pusat ke sel efektor, seperti otot, kelenjar, dan jaringan lainnya.
  - b. Tubuh sel, dendrit, dan sedikit akson di dalam sistem saraf pusat, yang berarti banyak akson pada sistem saraf perifer.
3. Interneuron

- a. Berfungsi sebagai integrator dan pengubah sinyal rangsangan.
- b. Mengintegrasikan aferen dan eferen kedalam system sirkuit reflek.
- c. Terletak diantara system saraf pusat



**Figure 4-1.** Different types of neurons found in the body. They come in all shapes and sizes, but

Gambar 4

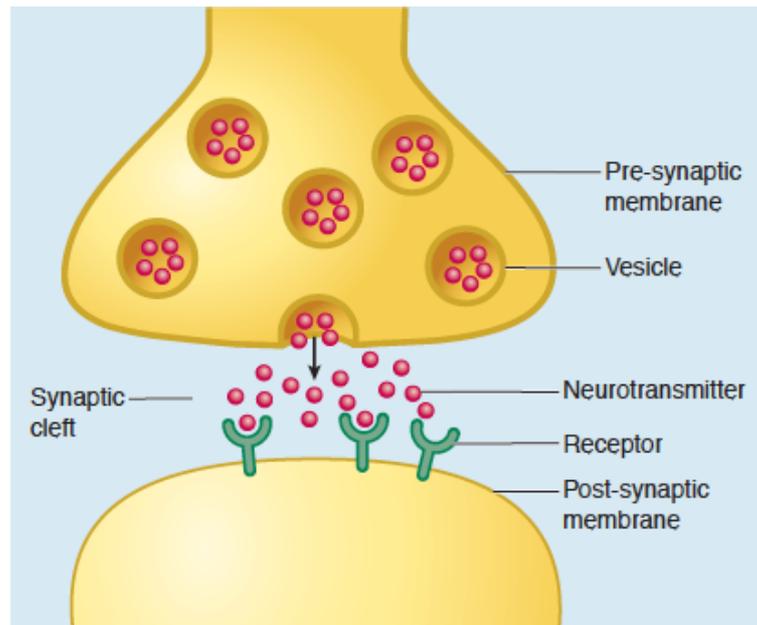


Gambar 5

Didalam system saraf ada yang disebut dengan neuroglia. Neuroglia adalah sel-sel yang berada didalam saraf yang tidak memiliki kemampuan untuk menghantarkan sinyal, melainkan berperan untuk menyediakan sumber energi (makanan) untuk sel dan membentuk selubung myelin.

Untuk komunikasi antar sel, saraf memiliki sinaps sebagai penghubung komunikasi antar dua sel yang melepaskan zat kimia berupa neurotransmitter dari pra-sinaptik. Neurotransmitter ini berkomunikasi mulai dari keluar dan masuk melalui ruang antar sinaps dan mengaktifkan reseptor. Reseptor berada pada pasca-sinaptik dalam jaringan. Zat kimi neurotransmitter terdiri dari asetilkolin, histamin, norepinefrin, dopamine, serotonin, glutamate, gamma-aminobutyric acid (GABA), glycine, substance P, enkepalin, dan endorphin.

Reseptor berfungsi sebagai penerima komunikasi dari sinaps. Reseptor memiliki komponen protein yang disebut dengan LIGAND dan dibentuk khusus untuk mengikat neurotransmitter, hormone, dan zat kimia lainnya. Ada banyak jenis reseptor di dalam tubuh dan semua terlibat dalam komunikasi antar sel. Setiap neurotransmitter memiliki reseptor sendiri, ini bertujuan agar setiap respetor mengirimkan neurotransmitter tepat pada target jaringan yang dituju dengan cepat. Reseptor hanya mampu menerima satu jenis ion baik itu  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , atau  $\text{Ca}^{++}$  untuk dapat masuk kedalam salurannya kecuali asetilkolin (ACh) dalam ruang neuromuscular junction (NMJ). Hal ini ditujukan agar komunikasi antar neuron untuk mengubah zat kimiawi berupa ion menjadi arus listrik.



**Figure 4-2.** The basic structure of a synapse with its different components, including a receptor protein to receive the chemical signal from the neurotransmitter. An action potential arrives at the pre-synaptic terminal, and depolarization of the pre-synaptic terminal opens ion channels, allowing  $\text{Ca}^{2+}$  into the cell. The  $\text{Ca}^{2+}$  triggers the release of a neurotransmitter from the vesicles, and they bind to the receptors on the post-synaptic membrane, which results in the opening and closing of ion channels to cause a change in the post-synaptic membrane potential, and, when it reaches a threshold level, an action potential is produced, which propagates through to the next cell. (Modified from Bear M, Connors B, Paradiso M. Neuroscience, Exploring the Brain. 3rd ed. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins, 2000.)

*Gambar 6*

## Organisasi system saraf

System saraf kita tersusun dari system saraf pusat dan system saraf perifer. Struktur system saraf pusat terdiri dari otak, spinal cord, dan interneuron. Struktur system saraf perifer dibagi menjadi saraf motoric dan sensorik yang terdiri dari system saraf somatic dan system saraf otonom.

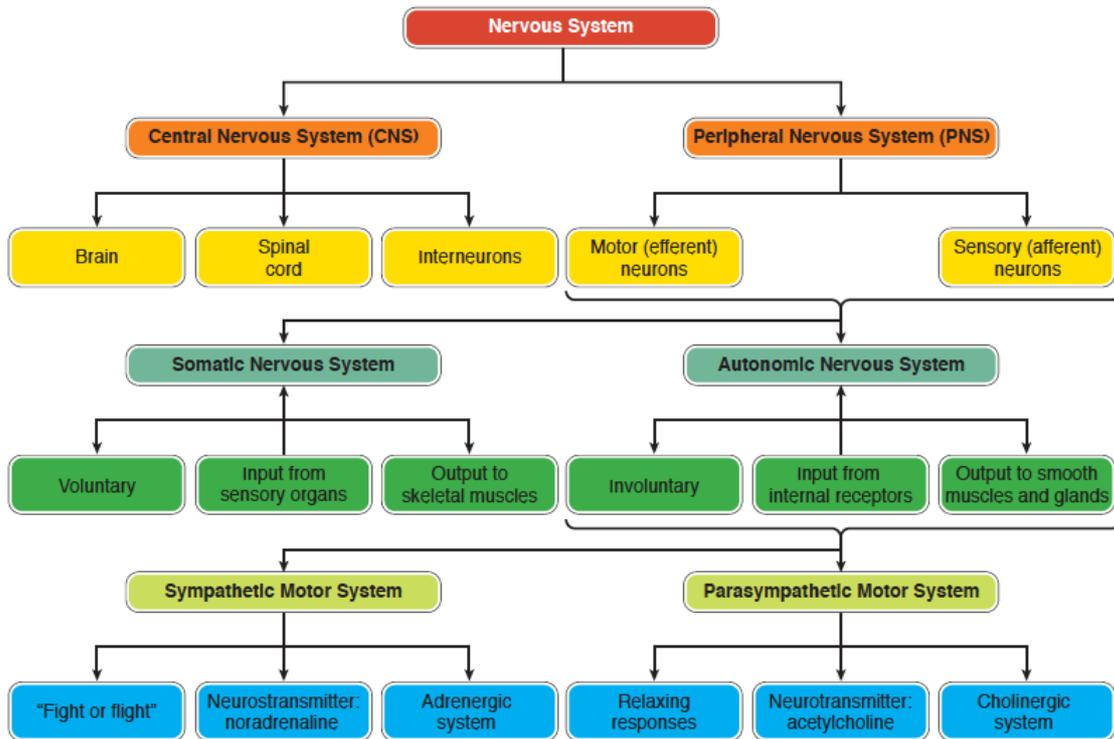


Figure 4-3. The basic overview of the anatomical divisions of the nervous system.

Gambar 7

System saraf otonom bersifat otomatis sehingga tidak dapat di atur kerjanya pada aktifitas tubuh. Ada dua system otonom yaitu simpatis dan parasimpatis. System simpatis merupakan respon "fight or flight" yang akan melepaskan neurotransmitter noeradrenaline dan adrenergic. Sedangkan parasimpatis merupakan respon peristirahatan bagi organ tertentu yang melepaskan neurotransmitter berupa asetilkolin dan kolinergik. Sebagai contoh organ tubuh yang diatur oleh system otonom adalah jantung, paru, dan pencernaan. Jantung akan berdenyut cepat ketika tubuh berlatih dengan beban berat sebagai upaya jantung untuk memompakan darah ke otot untuk memenuhi suplai oksigen dalam otot, ini menjelaskan . Setelah latihan denyut jantung akan menurun mencapai denyutan normal istirahat dan jantung akan berdenyut secara terus menerus tanpa berhenti dikarenakan memiliki system konduksi intrinsic yang membuat kelistrikan jantung berdenyut tanpa berhenti meskipun saat manusia tertidur. Sedangkan paru-paru dapat bekerja secara otomatis baik aktifitas berat dan istirahat, yang membedakan dengan jantung, paru-paru dapat digerakkan paksa (involunter) dikarenakan paru-paru diatur oleh system pernapasan dorsal yang berada di batang otak Pons yang mengatur irama dan reflek pernapasan baik kimia dan mekanik.

Table 4-2. Typical Functions of the Sympathetic and Parasympathetic Nervous Systems		
Target Organ	Sympathetic Stimulation	Parasympathetic Stimulation
Iris (eye muscle)	Pupil dilation	Pupil constriction
Salivary glands	Saliva production reduced	Saliva production increased
Oral/nasal mucosa	Mucus production reduced	Mucus production increased
Heart	Heart rate and force increased	Heart rate and force decreased
Lung	Bronchial muscle relaxed	Bronchial muscle contracted
Stomach	Peristalsis reduced	Gastric juice secreted; motility increased
Small intestine	Motility reduced	Digestion increased
Large intestine	Motility reduced	Secretions and motility increased
Liver	Increased conversion of glycogen to glucose	Influences relaxation of smooth muscle sphincters of blood vessels
Kidney	Decreased urine secretion	Increased urine secretion
Adrenal medulla	Increased secretion of norepinephrine and epinephrine	No effects
Bladder	Wall relaxed; sphincter closed	Wall contracted; sphincter relaxed

System somatic bekerja disadari dengan adanya rangsangan sensoris (kulit, tendon, sendi, otot, dan organ yang memiliki sensoris ) dan berpengaruh pada motoric pada kontraksi otot, disebut juga sebagai respon aksi-reaksi. System somatic sensoris akan berinteraksi kedalam tubuh agar dapat mengkoordinasikan lingkungan eksternal tubuh dan memberikan aksi. Sebagai contoh, pada gambar 8 menjelaskan pemain softball bermain dilapangan terbuka, tubuhnya akan menerima respon dari kondisi lingkungan lapangan baik panas, angin, salju, dan kondisi lingkungan lainnya untuk tetap mempertahankan performa pukulannya terhadap bola yang dilemparkan. System afferent ini akan mengirimkan sinyal ke otak dan diteruskan ke eferen melalui brain stem dan spinal cord pada system motoric yang akan merangsang kontraksi otot. Artinya tubuh seorang atlet tidak hanya kondisi internal saja yang dilatih, melainkan atlet juga harus sanggup berlatih/bertanding dengan kondisi lingkungan eksternal yang dihadapi dilapangan.

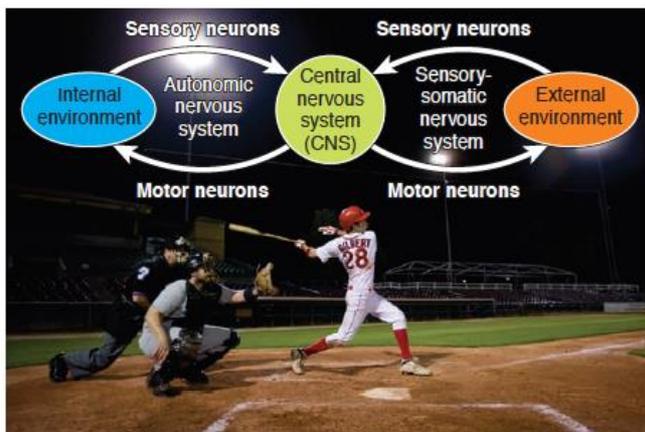


Figure 4-10. Relationship between the sensory and motor components of the nervous system play an important role in both exercise and sport performances.

Gambar 8

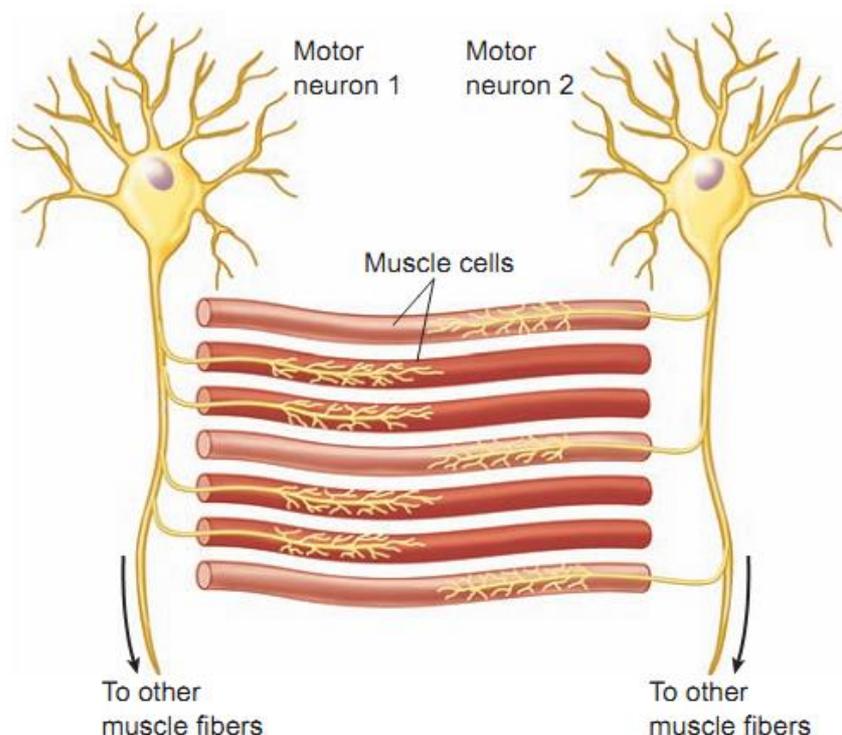
## Motor Unit

Kunci setiap gerakan adalah aktivasi pada motor unit yang melekat dalam otot. Motor unit bekerja sangat spesifik untuk mengirimkan sinyal ke otot agar otot dapat memproduksi tenaga sesuai dengan gerakan yang di inginkan, misalnya tenaga mengangkat pensil akan berbeda dengan gerakan melompat. Motor unit terdiri dari

serabut saraf *alpha* dan serabut otot, dimana serabut *alpha* memiliki dendrit yang pendek, menerima rangsangan dari cell body, dan sepanjang akson membawa sinyal dari cell body ke NMJ yang bersinaps di serabut otot.

Motor unit dibagi menjadi tiga kategori:

- Slow (S) motor unit; akson sangat lambat membawa sinyal ke serabut otot, sehingga tenaga yang dihasilkan lambat. Serabut otot tipe I berhubungan erat dengan motor unit ini, menghasilkan tenaga lebih kecil dan ukurannya yang kecil membuatnya sulit untuk mencapai kelelahan karena kapasitasnya bersifat aerobic.
- Fast Fatigue Resistant (FFR): memiliki axon lebih besar dan mengirimkan sinyal kelistrikan ke serabut otot cukup cepat. Serabut tipe 2A dengan ukuran lebih besar dari serabut tipe 1.
- Fast fatiguable (FF): mampu mengirimkan rangsangan sangat cepat ke serabut otot dan mampu melawan beban yang tinggi. Serabut tipe 2X (jika terlatih akan berubah menjadi tipe 2A) mampu mempertahankan tenaga yang besar dalam waktu yang singkat.

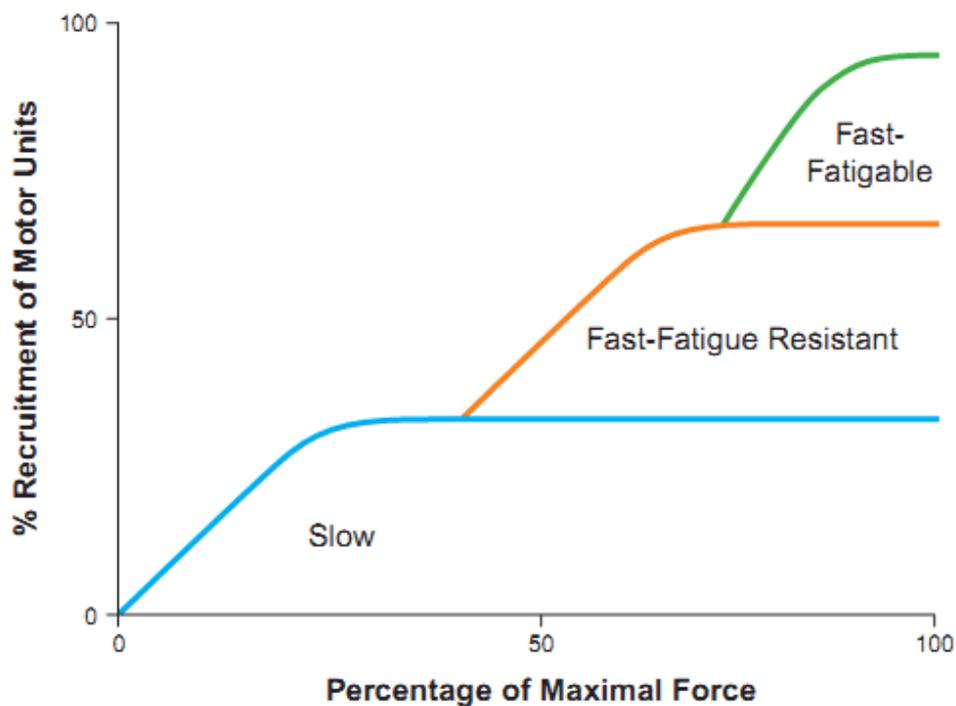


**Figure 4-11. The basic motor unit consists of the alpha motor neuron and its associated muscle fibers.** Notice that muscle fibers activated by one motor unit can be located side by side with muscle fibers activated by another motor unit. This allows for uniform muscle activation as well as gradations in force production.

Gambar 9

Seperti kita ketahui sebelumnya kalau motor unit sangat berpengaruh pada ukuran serabut otot. Dalam aktifitas otot penggunaan motor unit sangatlah selektif sesuai dengan gerakan yang akan dilakukan. Sehingga akan terjadi penyesuaian ukuran serabut otot yang akan menerima stimulus listrik dari motor unit. Motor unit aktif mulai dari ukurannya yang kecil ke ukuran terbesar. Setiap serabut otot mengandung satu motor unit sesuai dengan

ukuran serabut ototnya, ini bertujuan agar kontraksinya sesuai dengan karakteristik tipe kontraksi ototnya. Dalam kontraksi otot, stimulasi pertama kali pada serabut slow motor unit, kemudian di ikuti dengan kerja FFR dan serabut otot tipe 2A agar tenaga dapat ditingkatkan, sedangkan FF dan serabut otot tipe 2X hanya bekerja jika memerlukan tenaga maksimal (gambar 10). Sebagai contoh ketika melakukan squat dengan beban ringan, tidak semua motor unit bekerja pada gerakan tersebut, artinya motor unit akan disesuaikan kerjanya sesuai dengan beban kerja yang dibutuhkan. Jika kebutuhan tenaga yang lebih besar barulah serabut otot tipe 2 dan motor unitnya bekerja. Dalam praktik latihannya, latihan dengan beban ringan tidak akan menghasilkan perubahan kekuatan dan ukuran otot dikarenakan banyaknya srabut otot tipe 1 yang bekerja.



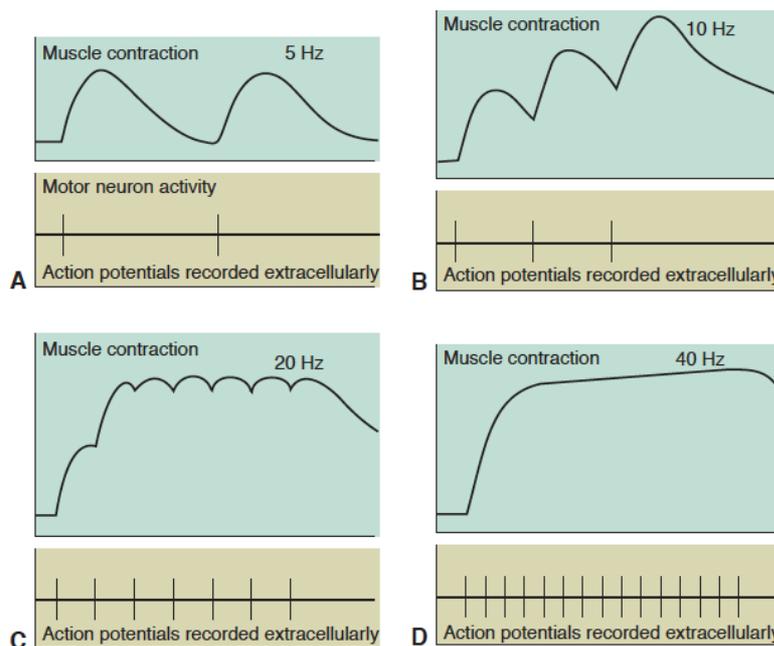
**Figure 4-15.** A general presentation of the size principle. As the demands of force production progress toward maximal, more motor units are recruited. At very low levels of force production, primarily slow motor units are recruited, and as more force is needed, more and more motor units are recruited, including the larger fast motor units.

Gambar 10

Seperti kita ketahui diatas peran pada masing-masing motor unit terhadap kerja serabut otot pada aktifitas olahraga akan terus bekerja sesuai dnegan kebutuhannya. Dalam aktifitas sehari-hari dan olahraga daya tahan tinggi (marathon, latihan beban ringan dengan repetisi banyak) memiliki kapasitas metabolisme aerobik akan terjadi **asynchronous recruitment**, yaitu siklus proses kerja slow motor unit dan serabut otot tipe 1 bekerja bergantian guna mencegah kelelahan. Semakin tinggi tenaga yang digunakan semakin sedikit proses **asynchronous recruitment** terjadi.

## Hukum ALL or NONE

Hukum ini menjelaskan bahwa tingkat ambang kontraksi dicapai oleh saraf motoric dengan motor unit yang spesifik sehingga serabut otot pada motor unit itu teraktivasi. Jika ambang rangsang tidak tercapai, tidak akan ada serabut otot yang akan teraktivasi oleh serabut motor unit. Hukum ini berlaku hanya satu otot saja, tidak keseluruhan otot. Semakin banyak motor unit yang bekerja, semakin besar tenaga yang dihasilkan. Dengan kata lain, jika satu motor unit bekerja, hanya sedikit tenaga yang dihasilkan. Jika hanya sebagian motor unit yang bekerja akan menambah jumlah tenaga. Jika semua motor unit bekerja semakin maksimal tenaga yang dihasilkan oleh otot, ini disebut juga dengan *multiple motor unit summation*.



**Figure 4-19.** Wave summation (also known as frequency summation) occurs when a given set of motor units are stimulated repeatedly until the maximum amount of force is developed in a tetanic muscle contraction. (A) Complete relaxation between action potentials. (B) Wave summation. (C) Unfused tetanus. (D) Tetanus. (From Bear M, Connors B, Paradiso M. Neuroscience, Exploring the Brain. 3rd ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams and Wilkins, 2000.)

Gambar 11

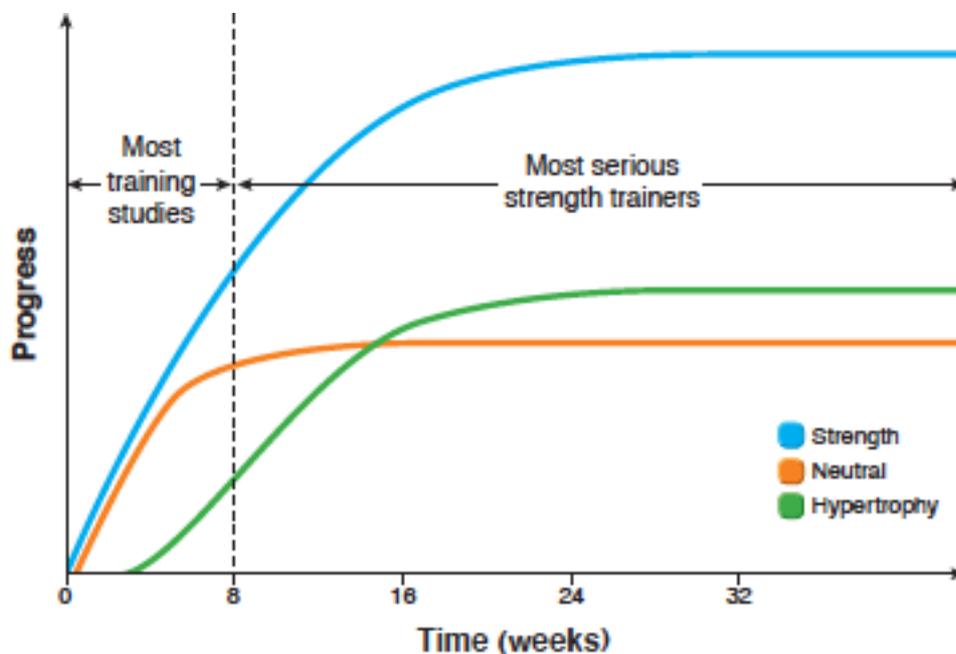
Pada gambar 11 menjelaskan kepada kita gradasi aktivitas serabut otot yang terstimulasi oleh motor unit yang disebut dengan gelombang sumasi (wave summation). Didefinisikan sebagai hasil potensial aksi pada serabut motor alpha untuk menstimulasi serabut otot. Satu motor unit akan memberikan satu rangsangan (potensial aksi) dengan menghasilkan satu kedutan (Twitch) pada otot. Kedutan adalah satu periode kerja otot menghasilkan tenaga yang diikuti dengan fase istirahat motor unit. Ketika potensial aksi meningkat kedutan sumasi akan berubah menjadi tetani yaitu tenaga maksimal yang dihasilkan motor unit. Kemampuan untuk mengontrol tenaga merupakan bagian vital untuk mempertahankan performa olahraga pada gerakan yang membutuhkan tenaga yang besar seperti lompat tinggi, memukul dengan cepat dan gerakan lainnya.

## Adaptasi saraf pada latihan

Adaptasi latihan pada system saraf dapat meningkatkan performa fisik dengan meningkatnya kerja motor unit dalam otot dan terekam dalam system saraf pusat. Ini dapat kita buktikan dengan menggunakan teknologi elektromiograf (EMG) untuk dapat mengukur aktivitas kelistrikan dalam otot, yang menggambarkan jumlah pergerakan saraf dalam otot. Ada satu bukti bahwa pemberian latihan beban selama

8 minggu menunjukkan aktivitas EMG yang lebih rendah dan menunjukkan respon kontraktile yang meningkat. Hal ini menjelaskan bahwa kerja saraf yang efisien terhadap sinyal motorik (kelistrikan) dapat meningkatkan jumlah kekuatan otot submaksimal

Selain meningkatkan jumlah kekuatan otot submaksimal, latihan beban akan juga diperkirakan akan menaikkan hipertropi sebesar 9% dari nilai EMG dasar dan kekuatan sebesar 30%. Data tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi upaya kerja/latihan terhadap beban, maka berdampak pada peningkatan jumlah kekuatan yang simultan. Terlihat pada gambar 5 menggambarkan adaptasi saraf terjadi lebih cepat pada minggu pertama tanpa adanya hipertropi otot dan di ikuti dengan kekuatan otot. Jika otot tidak digunakan, maka akan terjadi penurunan kerja system saraf untuk dapat memberika daya kontraksi otot maksimal.



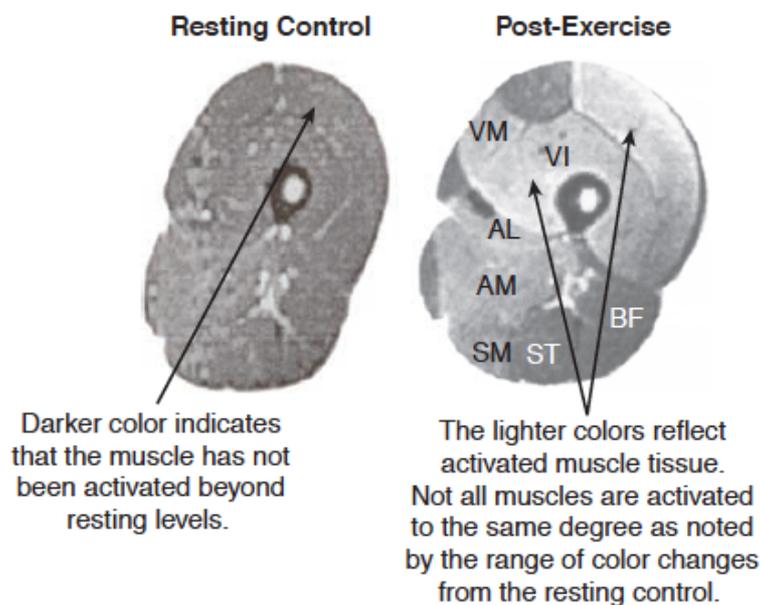
**Figure 4-20.** During the first weeks of training, increased strength is initially due to neural adaptations. As training continues, strength increases are also caused by increases in skeletal muscle hypertrophy.

Gambar 12

Saraf mampu beradaptasi terhadap fungsi otot dengan meningkatkan rangsangan motor unit. Semakin besar sinkronisasi kerja otot, maka motor unit semakin besar fungsinya dalam waktu yang sama. Sinkronisasi motor unit ini terlihat setelah melakukan latihan beban dengan mengobservasi kemampuan daya kecepatan kontraksi atau yang disebut dengan power terlihat dalam grafik *peak force production*. Sebagai contoh atlet pelari cepat (sprinter) akan memiliki kemampuan perekrutan motor unit lebih tinggi sehingga ambang kerja motor unit dan kecepatan konduksi saraf motoric pada akson akan meningkat. Setiap rangsangan yang

diberikan lebih besar juga berdampak pada respon metabolisme berupa kelelahan (fatigue).

Adaptasi saraf motorik ketika latihan akan meningkatkan daya rangsangan terhadap jaringan terutama pada otot. Untuk dapat memberikan rangsangan pada otot tidak lepas dari peran neuromuscular junction (NMJ) yaitu ruang antar akron dan serabut otot sebagai tempat penghantar sinyal kontraksi otot berupa asetilkolin (neurotransmitter). Pada latihan daya tahan seperti jogging di treadmill secara teratur akan mengubah dimensi vesikulus dari NMJ baik dari pras-sinaptik yang mengandung neurotransmitter dan post-sinaptik yang akan mengikat neurotransmitter. Hal tersebut akan mengefisienkan komunikasi neuromuscular sehingga dapat mengurangi kelelahan dalam jangka waktu yang lama. Tidak hanya latihan daya tahan yang akan memberikan pengaruh pada NMJ, latihan beban/kekuatanpun akan menghasilkan remodeling NMJ perubahan ukuran mencapai 30% pada pra dan post sinaptiknya.



**Figure 4-23. Magnetic resonance imaging of the thigh muscles before and after a heavy squat exercise protocol of five sets of 10 repetitions to concentric failure (10 RM).** A resting image is presented on the *left* and an image after exercise is on the *right*. The lighter the area the more the muscle tissue in that part of the thigh has been activated with the squat exercise protocol. Dramatic differences in activation among the different muscles of the thigh can be seen, which could be due to differences in the limb positions and squat mechanics of the exercise movement. RF, rectus femoris; VM, vastus medialis; VL, vastus lateralis; VI, vastus intermedius; BF, biceps femoris; ST, semitendinosus; SM, semimembranosus; AM, adductor magnus; AL, adductor longus.

*Gambar 13*

Setelah kita membaca penjelasan di atas, peran system saraf sangat berpengaruh pada hantaran sinyal kepada otot. Semakin besar hantarannya semakin besar pula otot berkontraksi sesuai dengan kebutuhannya. Setiap adaptasi latihan, system saraf akan mengubah strukturnya untuk dapat berbanding lurus dengan

hantaran yang dimiliki oleh tubuh, recruitment motor unit yang melekat pada serabut otot akan mengubah kerja otot sesuai dengan beban kerja/latihan yang diberikan. Seperti dijelaskan pada gambar 8 hasil MRI dari otot quadricep dan hamstring ada perbedaan ukuran antara yang tidak diberikan latihan (normal) dengan yang diberikan latihan squat dengan beban berat sebanyak 10 repetisi. Terlihat adaptasi yang jelas setelah latihan pada otot menjadi hipertropi dan ini akan berdampak pada ketinggian lompatan. Perubahan ini tidak lepas dari system saraf otonom yang mengatur laju darah dari jantung ke seluruh tubuh untuk memenuhi jumlah oksigen dan energi tubuh.