

“Kelistrikan Dalam Tubuh Manusia”

I. Pendahuluan

Kelistrikan merupakan sesuatu yang biasa di gunakan dalam kehidupan sehari-hari dan biasanya kita tidak terlalu banyak memikirkan hal tersebut. Walaupun pemakaian praktis dari kelistrikan telah dikembangkan khususnya pada abad kedupuluh, penelitian dibidang kelistrikan mempunyai sejarah yang panjang. Pengamatan terhadap gaya listrik dapat ditelusuri sampai pada zaman Yunani kuno. Orang-orang Yunani telah mengamati bahwa setelah batu amper digosok, batu tersebut akan menarik benda kecil seperti jerami atau bulu. Kata listrik berasal dari bahasa Yunani untuk amper yaitu *electron*.

Selama periode hujan badai pada tahun 1786, Luigi Galvani menyentuh otot tungkai seekor katak dengan menggunakan suatu metal, dan teramati bahwa otot katak tersebut berkontraksi. Dari pengamatan tersebut, ia menyimpulkan bahwa aliran listrik akibat badai tersebut merambat melalui saraf si katak sehingga otot-ototnya berkontraksi. Sel saraf menghantarkan impuls dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh yang lain. Namun dengan mekanisme yang jauh berbeda dengan hantaran aliran listrik pada suatu konduktor metal. Dalam rentang waktu yang cukup lama, kita mengetahui implus dalam system saraf terdiri dari ion-ion yang mengalir sepanjang sel-sel saraf lebih lambat dan kekuatannya lebih rendah (konduksinya ada atau tidak sama sekali) dibandingkan konduksi pada metal.

Alessandro Volta meneliti fenomena ini dan, dalam prosesnya menemukan baterai salah satu penemuan terpenting dalam sejarah fisika. Temuan tersebut merupakan sumber arus listrik tetap yang pertama. Kelistrikan memegang peranan penting dalam bidang kedokteran. Ada dua aspek kelistrikan dan magnetis dalam bidang kedokteran, yaitu listrik dan magnet yang timbul dalam tubuh manusia, serta penggunaan listrik dan magnet pada permukaan tubuh manusia. Listrik yang dihasilkan di dalam tubuh berfungsi untuk mengendalikan dan mengoperasikan saraf, otot dan berbagai organ. Kerja otak pada dasarnya bersifat elektrik.

Tubuh manusia mengandung sistem kelistrikan. Mulai dari mekanisme otak, jantung, ginjal, paru-paru, sistem pencernaan, sistem hormonal, otot-otot dan berbagai jaringan lainnya. Semuanya bekerja berdasar sistem kelistrikan. Karena itu kita bisa mengukur tegangan listrik di bagian tubuh mana pun yang kita mau. Semuanya ada tegangan listriknya. Bahkan setiap sel di tubuh kita memiliki tegangan antara -90 mvolt pada saat rileks sampai 40 mvolt pada saat beraktifitas. Tubuh kita boleh disebut sebagai sistem elektromagnetik. Sebab, kelistrikan sangat

erat kaitannya dengan kemagnetan. Otak kita memiliki medan kemagnetan. Sebagaimana jantung ataupun bagian-bagian lain di tubuh kita.

II. Kelistrikan Pada Saraf

1. Sistem Saraf

Sistem Saraf dibagi menjadi dua, yaitu: system saraf pusat dan system saraf otonom. Sistem Saraf Pusat terdiri dari otak, medulla spinalis dan saraf perifer. Saraf perifer ini adalah serat saraf yang mengirim informasi sensoris ke otak atau ke medulla spinalis, disebut saraf afferent. Sedangkan serat saraf yang menghantarkan informasi dari otak atau medulla spinalis ke otot dan kelenjar disebut saraf efferent. Sistem Saraf Otonom merupakan mengatur organ dalam tubuh, misalnya jantung, usus dan kelenjar-kelenjar pengontrolan ini dilakukan secara tidak sadar.

2. Neuron

Struktur dasar system saraf disebut neuron/sel saraf. Suatu sel saraf (neuron) merupakan bagian terkecil dalam suatu skema saraf dan berfungsi menerima, menginterpretasikan (memakai) dan menghantarkan aliran listrik/informasi. Sel saraf terdiri dari tubuh secara serabut yang menyerupai ranting. Serabutnya juga terdiri dari 2 macam, yaitu dendrite dan akson. Dendrit, bersama dengan tubuh sel berfungsi menerima informasi berupa rangsangan dan sensor berfungsi menghantarkan informasi ke bagian sel saraf lain. Jika rangsangan yang diterima oleh dendrite atau tubuh sel pada setiap waktu, intensitasnya berada pada ambang batas atau lebih, maka impuls saraf bereaksi serta menjalar sepanjang akson. Impuls ini akan mengalir sepanjang akson dari tubuh sel menuju cabang terminal. Sedangkan akson merupakan suatu salinan panjang yang tipis dan pada ujungnya terbungkus oleh suatu membrane yang berisi cairan dengan nama aksoplasma. Sesampainya impuls saraf pada terminal, suatu substansi saraf penghantar dilepaskan dan akan menyampaikan impuls ke penerima di sel berikutnya.

3. Rangsangan Sel Syaraf

Potensial sel syaraf dalam keadaan istirahat dapat diganggu oleh rangsangan listrik kimi maupun mekanik, selanjutnya butir-butir membrane akan berubah dan butir-butir ion natrium akan masuk dari luar sel ke dalam sel. Didalam sel akan menjadi kurang negative atau lebih positif daripada di luar sel dan potensial membrane akan meningkat, keadaan membrane ini disebut depolarisasi. Jika efek dari konsentrasi natrium (luar > dalam) menjadi seimbang oleh karena gradient listrik (potensial membrannya menjadi positif dari dalam) depolarisasi berakhir

saluran natrium kemudian menutup kembali. Saluran kalium merespon perubahan polaritas membrane setelah pembukaan natrium dengan mengirimkan kalium keluar dan natrium kedalam.

Setelah depolarisasi saluran natrium tetap tertutup untuk waktu yang cukup singkat sampai membrane sel syaraf tidak dapat dirangsang lagi dinamakan periode pemulihan. Perubahan transien pada potensial listrik di antara membrane dinyatakan sebagai potensial aksi. Potensial aksi merupakan fenomena keseluruhan yang berarti bahwa begitu nilai ambang tercapai, peningkatan waktu dan amplitude dan potensial aksi selalu sama. Karena adanya potensial aksi, sebagian kecil membrane mengalami depolarisasi akibat adanya aliran ion dalam membrane.

III. Kelistrikan Pada Jantung

1. Kelistrikan Otot Jantung

Sel membrane otot jantung (miokardium) sangat berbeda dengan syaraf dan otot bergaris dalam keadaan potensial istirahat dilakukan rangsangan maka ion-ion natrium akan masuk kedalam sel dan setelah tercapai nilai ambang akan timbul depolarisasi. Sedangkan pada sel otot jantung ion natrium mudah bocor. Aktivitas listrik jantung terjadi akibat ion (partikel bermuatan seperti natrium, kalium dan kalsium) bergerak menembus membran sel. Perbedaan muatan listrik yang tercatat dalam sebuah sel mengakibatkan apa yang dinamakan potensial aksi jantung.

Pada keadaan istirahat, otot jantung terdapat dalam keadaan repolarisasi artinya terdapat perbedaan muatan listrik antara bagian dalam membran yang bermuatan negatif dan bagian luar yang bermuatan positif. Siklus jantung bermula saat dilepaskannya impuls listrik, mulailah fase depolarisasi. Permeabilitas membran sel berubah dan ion bergerak melintasinya. Dengan bergerak ion ke dalam sel maka bagian dalam sel akan menjadi positif. Kontraksi otot terjadi setelah depolarisasi. sel otot jantung normalnya akan mengalami depolarisasi ketika sel-sel tetangganya mengalami depolarisasi (meskipun dapat juga terdepolarisasi akibat stimulasi listrik eksternal). depolarisasi sebuah sel sistem hantaran khusus yang memadai akan mengakibatkan depolarisasi dan kontraksi seluruh miokardium. Repolarisasi terjadi saat sel kembali ke keadaan dasar (menjadi lebih negatif), dan sesuai dengan relaksasi otot miokardium.

Setelah influks natrium cepat ke dalam sel selama depolarisasi, permeabilitas membran sel terhadap kalsium akan berubah, sehingga memungkinkan ambilan kalsium ke dalam sel. Influks kalsium, yang terjadi selama fase plateau repolarisasi, jauh lebih lambat dibandingkan

natrium dan berlangsung lebih lama. Interaksi antara perubahan voltase membran dan kontraksi otot di namakan kopling elektromekanikal. Otot jantung, tidak seperti otot lurik atau otot polos, mempunyai periode refraktori yang panjang, pada saat sel tidak dapat distimulasi untuk berkontraksi. Hal tersebut melindungi jantung dari kontraksi berkepanjangan (tetani), yang dapat mengakibatkan henti jantung mendadak.

Kopling elektromekanikal dan kontraksi jantung yang normal tergantung pada komposisi cairan interstisial sekitar otot jantung. Komposisi cairan tersebut pada gilirannya tergantung pada komposisi darah. Maka perubahan konsentrasi kalsium dapat mempengaruhi kontraksi serabut otot jantung. Perubahan konsentrasi kalium darah juga penting, karena kalium mempengaruhi voltase listrik normal sel.

2. Sistem Konduksi Jantung

Di dalam otot jantung terdapat jaringan khusus yang menghantarkan aliran listrik. Jaringan tersebut mempunyai sifat-sifat yang khusus, yaitu :

1. Otomatisasi, kemampuan untuk menimbulkan impuls secara spontan.
2. Irama, kemampuan membentuk impuls yang teratur.
3. Daya konduksi, kemampuan untuk menyalurkan impuls.
4. Daya rangsang, kemampuan untuk bereaksi terhadap rangsang.

Berdasarkan sifat-sifat tersebut di atas, maka secara spontan dan teratur jantung akan menghasilkan impuls-impuls yang di salurkan melalui system hantaran untuk merangsang otot jantung dan bisa menimbulkan kontraksi otot. Perjalanan impuls di mulai dari nodus SA ke nodus AV, sampai ke serabut purkinje.

- a. Sinoatrial Node (SA Node)/ Pacemaker: sekumpulan masa kecil dari sel khusus yang terbentang pada dinding atrium kanan dekat pembukaan vena cava superior. Disebut pacemaker karena menginisiasi impuls menyebabkan kontraksi atrium dalam tempo 70 detik dan terjadi kontraksi atrium, disebut depolarisasi atrium. Pada keadaan normal, nodus ini mampu menghasilkan impuls listrik sebesar 60-100 kali per menit. Sesuai sifatnya sebagai sel pacemaker, nodus SA mampu menghasilkan impuls dengan sendirinya.
- b. Atrioventrikular Node (AV Node): terdapat pada dinding atrial septum dekat katup atrioventrikular. Menkonduksi impuls yang tiba melalui atria dan yang berasal dari SA Node. Disini terdapat delay, sinyal elektrik butuh 0,1 sekon untuk melewati ventrikel, menyebabkan atria selesai berkontraksi sebelum ventrikel mulai berkontraksi. AV Node juga memiliki

fungsi secondary pacemaker, mengambil alih fungsi SA Node bila terjadi masalah, namun menjadi lebih lambat daripada SA Node. Dalam keadaan normal mampu menghasilkan impuls 40-60 kali per menit.

- c. Atrioventrikular Bundle (AV Bundle atau Bundle of His): fiber khusus yang berasal dari AV Node. AV Bundle melintasi fibrous ring yang memisahkan atrium dan ventrikel, pada ujung atas sekat ventrikel, AV Bundle terbagi menjadi cabang bundle kanan dan kiri. Bersamaan dengan myocardium ventrikel, cabang-cabang membagi menjadi fiber halus yang disebut serat purkinje. AV bundle, cabang bundle, dan serat purkinje menghantarkan impuls elektrik dari AV node ke apex jantung dimana mulailah terjadi kontraksi ventrikel. Berkas his terbagi menjadi cabang berkas kiri (left bundle branches, LBB) dan berkas kanan (right bundle branches, RBB). LBB terbagi menjadi:

3. Aktivitas Kelistrikan Otot Jantung

Sel otot jantung mempunyai kemampuan menuntun suatu perambatan potensial aksi atau gelombang depolarisasi. Depolarisasi miokardium oleh perambatan potensial aksi akan menghasilkan kontraksi otot. Tiga hal penting sel otot jantung :

- a. Konduksi berjalan dengan kecepatan tinggi merupakan keistimewaan pada otot jantung dimana konduksi berlangsung secara cepat.
- b. Periode refrakter yang cepat lamanya repolarisasi dan periode refraktor pada otot jantung.
- c. Otomatisasi, tidak menghendaki rangsangan dari luar untuk mencapai nilai ambang melainkan mempunyai kemampuan sendiri yaitu depolarisasi spontan tanpa rangsangan dari luar.

SA node mengalami gelombang depolarisasi ke atrium kiri ke atrium kanan. Gelombang depolarisasi diteruskan ke AV node sehingga AV node mengalami depolarisasi dilanjutkan melalui berkas his dan diteruskan ke berkas cabang sehingga mengalami depolarisasi, dari cabang bundle impuls tersebut diteruskan ke jaringan purkinje. Dari jaringan purkinje gelombang depolarisasi diteruskan ke endokardium dan berakhir ke epikardium sehingga terjadi kontraksi otot jantung. Setelah repolarisasi, miokardium mengalami relaksasi. Pada waktu repolarisasi tampak proses epikardium ke endokardium ventrikel, sedangkan pada proses depolarisasi tampak dari endokardium ke epikardium.

4. Sistem Konduksi Jantung

Di dalam otot jantung terdapat jaringan khusus yang menghantarkan aliran listrik. Jaringan tersebut mempunyai sifat-sifat yang khusus, yaitu :

1. Otomatisasi, kemampuan untuk menimbulkan impuls secara spontan.
2. Irama, kemampuan membentuk impuls yang teratur.
3. Daya konduksi, kemampuan untuk menyalurkan impuls.
4. Daya rangsang, kemampuan untuk bereaksi terhadap rangsang.

Berdasarkan sifat-sifat tersebut di atas, maka secara spontan dan teratur jantung akan menghasilkan impuls-impuls yang di salurkan melalui system hantaran untuk merangsang otot jantung dan bisa menimbulkan kontraksi otot. Perjalanan impuls di mulai dari nodus SA ke nodus AV, sampai ke serabut purkinje.

5. Hubungan Sistem Konduksi dengan Gelombang EKG

Sistem konduksi listrik jantung (nodus SA, nodus AV, His, dan serabut purkinje) secara sistematis mampu menghasilkan gelombang elektrokardiografi dan menggerakkan jantung untuk melakukan kontraksi. Ketika satu impuls dicetuskan oleh nodus SA, listrik lebih dulu menjalar di kedua atrium dan terjadilah depolarisasi. Selanjutnya, akan menghasilkan gelombang P pada rekaman EKG. Oleh karena potensial listrik akibat repolarisasi atrium lebih rendah daripada depolarisasi atrium, gelombang repolarisasi pada atrium tampak pada rekaman EKG. Selanjutnya, listrik yang sudah ada di atrium meneruskan penjaran (konduksi) ke nodus AV, His, LBB dan RBB, dan berakhir di serabut purkinje. Sesampainya di serabut purkinje, impuls listrik mendepolarisasi otot-otot di kedua ventrikel yang lebih lanjut akan menghasilkan kontraksi kedua ventrikel. Peristiwa terjadinya depolarisasi pada kedua ventrikel ini menghasilkan gelombang QRS dan munculnya gelombang T merupakan akibat terjadinya peristiwa repolarisasi ventrikel.

Gelombang-gelombang yang timbul akibat depolarisasi dan repolarisasi miokardium itu akan direkam pada kertas EKG dan, seperti halnya setiap macam gelombang lainnya, mempunyai tiga sifat utama, yakni:

1. Durasi, diukur dalam seperbagian detik
2. Amplitudo, diukur dalam milivolts (mV)
3. Konfigurasi, merupakan kriteria yang lebih subjektif sehubungan dengan bentuk dan gambaran sebuah gelombang.

Kertas EKG didesain dengan bentuk khusus yang masing-masing dibuat bergaris-garis membentuk sebuah kotak yang sama sisi. Masing-masing kotak terdiri atas kotak berukuran kecil ditandai garis tipis dan kotak besar bergaris tebal. Garis tipis membatasi kotak-kotak kecil seluas

1 mm X 1 mm; garis tebal membatasi kotak besar seluas 5 mm X 5 mm. Sumbu horisontal mengukur waktu. Jarak satu kotak kecil adalah 0,04 detik. Jarak satu kotak besar adalah lima kali lebih besar, atau 0,2 detik. Sumbu vertikal mengukur voltage. Jarak satu kotak kecil adalah sebesar 0,1 mV, dan satu kotak besar adalah sebesar 0,5 mV.

Pada EKG normal, terdapat gelombang P, Q, R, S, T. Gelombang P muncul ketika ada impulse dari SA Node yang melewati atrium. Normalnya kurang dari 0,12 detik dan tingginya (amplitudo) tidak lebih dari 0,3 mV. Gelombang P secara normal selalu defleksi positif (cembung ke atas) di semua sadapan dan selalu defleksi negatif (cekung ke bawah) di sadapan aVR. Akan tetapi, kadang-kadang ditemukan defleksi negatif di sadapan V1 dan hal ini merupakan sesuatu yang normal.

Pada jantung sehat, ada sebuah pintu gerbang listrik pada persambungan antara atrium dan ventrikel. Gelombang depolarisasi, yang telah menyelesaikan penjalanannya melalui atrium, sekarang akan menemui suatu sawar (barrier). Di tempat tersebut, suatu struktur yang disebut nodus atrioventrikular (AV) yang akan memperlambat konduksi sampai menjadi lambat sekali. Masa istirahat ini hanya berlangsung selama seper detik. Perlambatan konduksi yang fisiologik ini berguna untuk mempermudah atrium menyelesaikan kontraksinya sebelum ventrikel mulai berkontraksi. Pemasangan kabel jantung yang rapi ini memungkinkan atrium mengosongkan seluruh volume darahnya ke dalam ventrikel sebelum ventrikel berkontraksi.

Kompleks QRS menggambarkan persebaran yang cepat dari AV Node melewati AV Bundle dan serat Purkinje dan aktivitas elektrik daripada otot ventrikel. Kompleks QRS merupakan gelombang kedua setelah gelombang P, terdiri atas gelombang Q-R dan/ atau S. Gelombang QRS merupakan hasil depolarisasi yang terjadi di kedua ventrikel yang dapat direkam oleh mesin EKG. Secara normal, lebar kompleks QRS adalah 0,06-0,12 detik dengan amplitudo bervariasi bergantung pada sadapan.

Gelombang Q merupakan gelombang defleksi negatif setelah gelombang P. secara normal, lebarnya tidak lebih dari 0,04 detik. Bila lebarnya melebihi nilai normal, dinamakan Q patologis. Gelombang R merupakan gelombang defleksi positif (ke atas) setelah gelombang P atau setelah Q. Gelombang ini umumnya selalu positif di semua sadapan, kecuali aVR. Penampakkannya di sadapan V1 dan V2 kadang-kadang kecil atau tidak ada, tetapi hal ini masih normal. Gelombang ini merupakan gelombang defleksi negatif (ke bawah) setelah gelombang R

atau gelombang Q. secara normal, gelombang S berangsur-angsur menghilang pada sadapan V1-V6. gelombang ini sering terlihat lebih dalam di sadapan V1 dan aVR, dan ini normal.

Gelombang T merupakan gelombang hasil repolarisasi di kedua ventrikel. Normalnya, positif (ke atas) dan interved (terbalik) di aVR. Gelombang T yang interved selain di aVR merupakan indikasi adanya iskemia miokard. Gelombang T yang runcing di semua sadapan dapat membantu menegaskan adanya hiperkalemia, sedangkan gelombang T yang tinggi pada beberapa sadapan tertentu dapat menunjukkan adanya hiperakut T yang merupakan tanda awal sebelum infaral miokard terjadi.