

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Medan Listrik dan Masalahnya

Medan listrik adalah besaran yang mempunyai harga pada tiap titik dalam ruang, Gaya Coulomb disekitar medan listrik membentuk medan gaya listrik atau disebut medan listrik. Gaya interaksi antara dua benda titik bermuatan listrik sebanding dengan muatan masing-masing dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut merupakan pengertian dari Hukum Coulomb (Dzakwan, 2001).

Pendistribusian arus listrik bertegangan tinggi Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dari sumber pembangkit ke daerah yang membutuhkan kadang-kadang jaringan tersebut melewati kawasan pemukiman penduduk namun diperkirakan masih berada dalam daerah radiasi arus listrik. Situasi pemukiman seperti ini dapat menimbulkan pengaruh negatif terhadap kesehatan seperti; mual, pusing dan stress (Tribuana, 2000).

Berdasarkan ambang batas Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) untuk medan listrik batas maksimal yang diperbolehkan adalah 5kV/meter persegi dan

medan magnet 0.5 M Tesla, sementara tegangan SUTET berada dibawah angka tersebut, yakni 500 Volt atau 0,5 kV/meter persegi (Insan, 2002).

Kriteria yang dipakai dalam penentuan batas pajanan menggunakan rapat arus yang diinduksi dalam tubuh, karena arus-arus induksi dalam tubuh tidak dapat dengan mudah diukur secara langsung maka penentuan batas pajanan diturunkan dari nilai kriteria arus induksi dalam tubuh berupa kuat medan listrik (E) yang tidak terganggu dan rapat fluks magnetik (B) (Bernhardt, 1985).

Berdasarkan pada tahun 1987 UNEP (*united Nations Environment Programme*) , WHO (*World Health Organization*), dan IRPA (*International Radiation Protection Association*) pada tahun 1987 mengeluarkan suatu pernyataan mengenai nilai rapat arus induksi terhadap efek-efek biologis yang ditimbulkan akibat pajanan medan listrik dan medan magnet pada frekuensi 50/60HZ terhadap tubuh manusia sebagai berikut : antara 1 dan 10 Ma/m² tidak menimbulkan efek biologis yang berarti , antara 10 dan 100 mA/m² menimbulkan efek biologis yang terbukti termasuk efek pada sistem penglihatan dan syaraf, antara 100 dan 1000 mA/m² menimbulkan stimulasi pada jaringan-jaringan yang dapat dirangsang dan ada kemungkinan bahaya terhadap kesehatan dan diatas 1000 mA/m² dapat menimbulkan ekstrasistole dan fibrasi ventrikular dari jantung (bahaya akut pada kesehatan) (Tribuana, 2000).

Menurut IRPA dan WHO, batasan pajanan kuat medan listrik yang diduga dapat menimbulkan efek biologis untuk umum adalah 5 kV/m (Tribuana, 2000).

Pada dasarnya di seluruh sel tubuh terdapat potensial listrik karena keberadaan elektrolit dalam cairan intraseluler dan ekstraseluler yang dibatasi oleh membran sel. Sel saraf dan sel otot mempunyai sifat dapat dirangsang. Artinya dapat membangkitkan sendiri impuls elektrokimia pada membran selnya. Pada beberapa keadaan, impuls ini dapat digunakan untuk menghantarkan sinyal sepanjang membran (Gabriel, 1996).

Cairan ekstraseluler mengandung lebih banyak ion Natrium (Na^+) dan sedikit ion Kalium (K^+). Sedangkan pada cairan intraseluler mengandung lebih banyak ion K^+ dibandingkan ion Na^+ . Sel mempunyai kemampuan memindahkan ion dari satu sisi ke sisi lain karena adanya permeabilitas membran sel. Dalam keadaan istirahat dimana tidak ada proses konduksi listrik, konsentrasi ion Na^+ lebih banyak di luar sel daripada di dalam sel (Gabriel, 1996).

Jika terjadi rangsangan yang cukup kuat baik oleh rangsangan listrik, kimia, maupun mekanik, permeabilitas membran sel akan berubah. Hal ini menyebabkan ion Na^+ masuk ke ruangan intraseluler. Suatu rangsangan yang cukup kuat akan mencapai nilai ambang rangsang membran sel. Sehingga terusmenerus mengalir ke cairan intraseluler menjadi elektropositif dan mencapai nilai puncak disebut depolarisasi. Jika potensial aksi telah mencapai

nilai puncak, aliran ion Na^+ ke dalam sel akan berhenti dan akan kembali menuju cairan ekstraseluler secara cepat dan tiba-tiba sehingga ruang intraseluler kembali menjadi elektronegatif. Proses ini disebut repolarisasi (Guyton dan Hall, 2007).

B. Biologi Mencit (*Mus Musculus L.*)



Gambar 3. Mencit (*Mus Musculus L.*) (Anonim,2009)

Menurut Kimbal (1983), mencit adalah hewan vertebrata yang termasuk kelompok hewan menyusui (mamalia), berdasarkan struktur gigi dan kebiasaannya sebagai hewan pengerat mencit digolongkan kedalam ordo Rodentia dan familia Muridae. Mencit memiliki sifat jinak, lemah, takut cahaya dan aktif pada malam hari serta mudah ditangani, dalam pemeliharaannya mencit dibutuhkan kisaran suhu 20-25 derajat C.

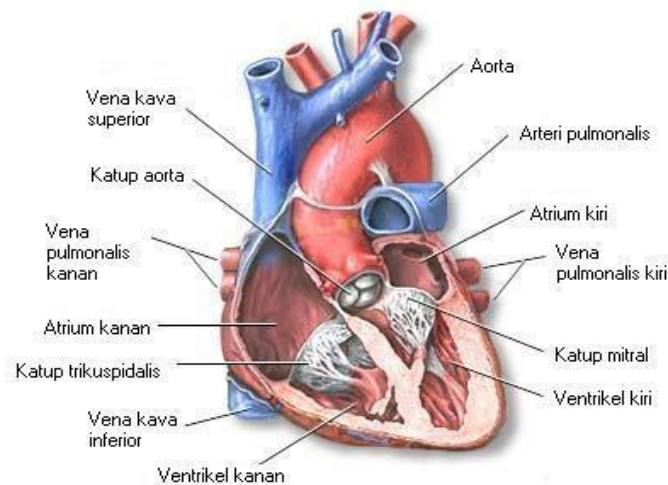
Berdasarkan jenis makanannya mencit bersifat omnivorus yaitu mau memakan segala jenis makanan dan sering mencoba makanan yang tidak biasa sekalipun. Makanan yang tidak biasa dimakan tersebut akan dicicipi terlebih dahulu dan

mencit akan kembali memakan jika tidak ada akibat-akibat buruk yang terjadi setelah mencicipi makanan tersebut (Smith dan Mangkoewidjojo, 1988).

Menurut Yuono dkk (2002), siklus mencit berlangsung 4-5 hari sekali, karena mencit termasuk hewan poliestrus, estrus terjadi 20-40 jam setelah partus dan lama birahi antara 9-20 jam. Berdasarkan rasio jantan dan betina cara perkawinan mencit dibedakan atas monogamus, triogamus, dan harem sistem. Monogamus terdiri dari satu jantan dan satu betina, triogamus terdiri dari satu jantan dan dua betina dan harem sistem terdiri dari satu jantan dan lebih dari tiga betina dalam satu kandang.

C. Organ Jantung

1. Anatomi dan Fisiologi Jantung



Gambar 4. Anatomi Organ Jantung Manusia (Deni, 2002)

Jantung merupakan organ utama dalam sistem kardiovaskular. Ukuran jantung kira-kira panjang 12 cm, lebar 8-9 cm dan tebal sekitar 6 cm. Berat jantung sekitar 7-15 ons atau 200-245 g dan sedikit lebih besar dari kepalan tangan. Jantung merupakan organ berongga yang berbentuk kerucut tumpul (Ganong, 1995).

Jantung terletak dalam mediastinum di rongga dada yaitu di antara kedua paru-paru. Perikardium yang melapisi jantung terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan dalam disebut perikardium viseralis dan lapisan luar disebut perikardium parietalis. Kedua lapisan perikardium ini dipisahkan oleh sedikit cairan pelumas, yang berfungsi mengurangi gesekan pada gerakan memompa dari jantung itu sendiri. Perikardium parietalis melekat pada tulang dada di sebelah depan, dan pada columna vertebralis di sebelah belakang, sedangkan ke bawah pada diafragma. Perikardium viseralis langsung melekat pada permukaan jantung (Price dan Wilson, 1995).

Dinding jantung terdiri dari tiga lapisan (Price dan Wilson, 1995), yaitu:

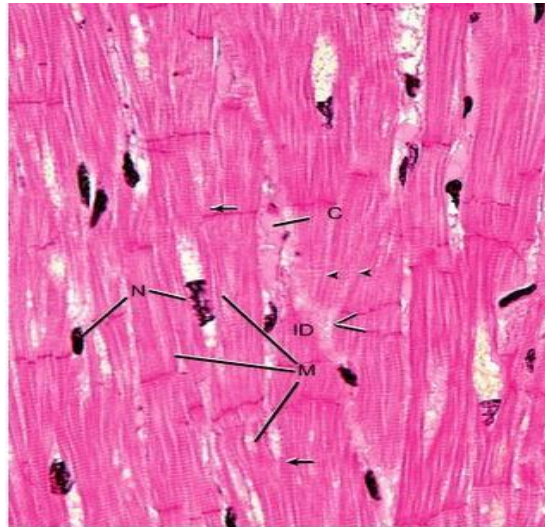
- a. endokardium merupakan lapisan endotel.
- b. miokardium terdiri dari sel-sel otot.
- c. epikardium merupakan lapisan terluar membentuk permukaan luar jantung.

Ada 4 (empat) ruangan dalam jantung yaitu atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan dan ventrikel kiri. Di antara atrium kanan dan ventrikel

kanan ada katup yang memisahkan keduanya yaitu katup trikuspidalis, sedangkan pada atrium kiri dan ventrikel kiri juga mempunyai katup yang disebut dengan katup mitral. Kedua katup ini berfungsi sebagai pembatas yang dapat terbuka dan tertutup pada saat darah masuk dari atrium ke ventrikel (Ganong, 1995).

Fungsi utama jantung adalah memompa darah ke seluruh tubuh. Otot-otot jantung bergerak saat pemompaan jantung. Kedua atrium merupakan ruang dengan dinding otot yang tipis karena rendahnya tekanan yang ditimbulkan oleh atrium. Sebaliknya ventrikel mempunyai dinding otot yang tebal terutama ventrikel kiri mempunyai lapisan tiga kali lebih tebal dari ventrikel kanan. Sirkulasi darah ditubuh ada 2 (dua) macam yaitu sirkulasi paru dan sirkulasi sistemis. Sirkulasi paru mulai dari ventrikel kanan ke arteri pulmonalis, arteri besar dan kecil, kapiler lalu masuk ke paru, setelah dari paru keluar melalui vena kecil, vena pulmonalis dan akhirnya kembali ke atrium kiri. Sirkulasi ini mempunyai tekanan yang rendah kira-kira 15-20 mmHg pada arteri pulmonalis. Sirkulasi sistemis dimulai dari ventrikel kiri ke aorta lalu arteri besar, arteri kecil, arteriole lalu ke seluruh tubuh lalu ke venule, vena kecil, vena besar, vena kava inferior, vena kava superior akhirnya kembali ke atrium kanan (Ganong, 1995).

2. Histologi jantung



Keterangan gambar

N= nukleus (inti sel)
 M= serat otot
 ID= duktus intekalaris
 C= kapiler.

Gambar 5. Histologi otot jantung manusia (Rudi, 2007)

Jantung terdiri atas tiga tipe otot jantung (miokardium) yang utama yaitu : otot atrium, otot ventrikel, dan serat otot khusus penghantar dan pencetus rangsang. Otot atrium dan ventrikel berkontraksi dengan cara yang sama seperti otot rangka. Serat-serat otot khusus penghantar dan pencetus rangsangan berkontraksi dengan lemah sekali karena hanya mengandung sedikit serat kontraktif. Bahkan serat-serat ini menghambat irama dan berbagai kecepatan konduksi. Serat-serat ini bekerja sebagai sistem pencetus rangsangan bagi jantung (Guyton dan Hall, 2007).

Serat otot jantung memiliki beberapa ciri yang juga terlihat pada otot rangka. Perbedaannya adalah otot-otot jantung terdiri atas sel-sel yang panjang, terdapat garis-garis melintang di dalamnya, bercabang tunggal, terletak paralel satu sama lain, dan memiliki satu atau dua inti yang terletak

di tengah sel. Juga terlihat myofibril jantung pada potongan melintang. Satu ciri khas untuk membedakan otot jantung adalah diskus interkalatus. Diskus ini adalah struktur berupa garis-garis gelap melintang yang melintasi rantairantai otot, yang terpulas gelap, ditemukan pada interval tak teratur pada otot jantung, dan merupakan kompleks tautan khusus antar serat-serat otot yang berdekatan (Eroschenko, 2003).

Struktur dan fungsi dari protein kontraktil dalam sel otot jantung pada dasarnya sama dengan otot rangka. Terdapat sedikit perbedaan dalam struktur antara otot atrium dan ventrikel (Junqueira, 2007).

3. Kelistrikan Jantung

Pada otot jantung, potensial aksi ditimbulkan oleh saluran cepat Na^+ , saluran lambat Kalsium-Natrium, dan saluran K^+ . Bila potensial membran otot jantung meningkat dari titik normalnya yang sangat negatif menjadi positif secara cepat, dikatakan terjadi spike pertama.

Saluran lambat Kalsium-Natrium membuka lebih lambat dan tetap terbuka selama beberapa lama sehingga ion Ca^+ dan Na^+ tetap mengalir masuk selama beberapa saat. Sedangkan permeabilitas membran sel otot jantung untuk K^+ yang akan keluar menurun kira-kira 5 kali lipat. Sehingga mencegah kembalinya potensial membran ke tingkat istirahat. Akhirnya proses depolarisasi dipertahankan dalam waktu lebih lama dan memunculkan suatu gambaran mendatar (*plateau*). Adanya plateau ini

menyebabkan kontraksi otot jantung berlangsung selama 3 sampai 15 kali lebih lama dibandingkan kontraksi otot rangka (Guyton dan Hall, 2007).

Bila saluran lambat untuk Kalsium-Natrium telah berhenti, permeabilitas membran K^+ akan meningkat sangat cepat. K^+ keluar dari serat dengan cepat dan terjadilah repolarisasi. Potensial aksi yang melalui diskus interkalatus akan menyebar ke sel-sel otot lain. Sinyal kontraksi berpindah dari sel ke sel dalam bentuk gelombang. Memperlihatkan bahwa jantung terdiri atas berkas-berkas sel yang teranyam erat untuk menimbulkan suatu gelombang kontraksi khusus yang mengarah pada pemerasan isi ventrikel jantung. Jadi otot jantung merupakan suatu sinsisium (Junqueira, 2007).

Jantung memiliki sistem untuk membangkitkan sendiri impuls ritmis yang menimbulkan kontraksi ritmis otot jantung untuk kemudian mengkonduksikan impuls ini ke seluruh jantung. Kemampuan *self excitation* ini dipegang oleh nodus sinus (nodus S-A). Serat sinus berhubungan langsung dengan serat atrium sehingga potensial aksi dalam nodus sinus akan segera menyebar ke dalam atrium sampai pada nodus atrioventrikuler (nodus A-V). Nodus A-V memperlambat aliran impuls dari atrium ke ventrikel jantung untuk memberikan waktu bagi atrium guna mengosongkan isinya ke dalam ventrikel. Dari nodus A-V berjalan melalui berkas atrioventrikular (Berkas A-V) kemudian melalui serat purkinje menyebar ke seluruh ventrikel. Serat purkinje menyebarkan impuls ke seluruh permukaan endokardium. Karakteristiknya adalah potensial aksi selalu berjalan dari

atrium ke ventrikel, tidak boleh sebaliknya, kecuali pada keadaan patologis (Guyton dan Hall, 2007).

Bila sistem konduksi berfungsi normal, atrium akan berkontraksi 1/6 detik lebih awal dari ventrikel. Hal ini menyebabkan pengisian darah pada ventrikel sebelum ventrikel memompanya ke sirkulasi paru dan perifer. Sistem ini memungkinkan semua bagian ventrikel berkontraksi hampir secara bersamaan. Hal ini penting untuk menimbulkan tekanan efektif dalam ruang ventrikel (Guyton dan Hall, 2007).

D. Kerusakan Jantung Akibat Serangan Listrik

1. Pengaruh Terhadap Kelistrikan Jantung

Penyebab terbesar kematian karena sengatan listrik dilaporkan karena terpengaruhnya kerja jantung. Sengatan listrik mengganggu kelistrikan jantung dan merusak otot jantung. Jantung pada keadaan normal memiliki sistem kelistrikan yang searah dari nodus sinus (*pacemaker*) menuju serat purkinje untuk kemudian menyebar ke seluruh otot jantung yang berfungsi untuk mengkontraksikan otot jantung guna memompa darah ke seluruh tubuh supaya kebutuhan nutrisi terpenuhi untuk metabolisme sel-sel tubuh (Guyton dan Hall, 2007).

Adanya arus listrik yang melewati jantung mempengaruhi potensial membran otot jantung dan mengganggu konduksi listrik jantung yang semula ritmis dan searah. Aliran arus listrik masuk melalui miokardium

terutama di lapisan superficial epikardium. Arus listrik menyeberangi endokardium dan memiliki pengaruh besar pada sinusium miokardium, memungkinkan dislokasi nodus pacemaker akibatnya sistem kelistrikan jantung terganggu (Knight, 1996)

Kelistrikan jantung yang sudah tidak ritmis (disritmia), mengakibatkan kontraksi otot jantung yang tidak sesuai pula. Kontraksi otot yang tidak ritmis menyebabkan gangguan dalam pemompaan darah ke seluruh tubuh. Fibrilisasi ventrikel, sinus takikardi, disfungsi kontraktilitas, nekrosis, dan infark otot jantung pernah dilaporkan (Buono *et al*, 2003)

Jika korban tidak diresusitasi, pingsan akan terjadi pada 10-15 menit. Kerusakan irreversibel terjadi dalam 3 menit dan kematian terjadi setelah 5-10 menit (Dimaio dan Dimaio , 2001).

Karena itulah sengatan listrik yang melalui jantung dikatakan menyebabkan fibrilisasi ventrikel yang dapat berlanjut menjadi aritmia dan berakhir dengan kematian (Cooper dan Price, 2008).

2. Pengaruh Terhadap Otot Jantung

Sebuah penelitian pada tahun 2006 meneliti perubahan morfologi jantung pada 21 orang yang meninggal akibat sengatan listrik dibandingkan dengan orang yang meninggal akibat lain. Setiap jantung diambil 16 sampel untuk diproses secara histopatologis. Frekuensi, lokasi, dan derajat

segmentasi myoselular (peregangan dan atau ruptur) diskus interkalatus dan perubahan-perubahan terkait berkas miokardium dan sel miokardium tunggal yang disebut Myofibre Break-up (MFB). Frekuensi MFB adalah maksimal pada kasus kematian akibat sengatan listrik (90%). MFB menginformasikan perubahan struktur akibat kekacauan dan tidak sinkronnya aktivitas listrik dan dapat diinduksi oleh lewatnya arus listrik abnormal (Fineschi, 2006).

Istilah MFB didefinisikan sebagai berkas miokardium yang meregang diselingi miokardium yang hiperkontraksi. Ditemukan juga pelebaran dan ruptur (segmentasi) diskus interkalatus. Intisel miokardium pada sel yang hiperkontraksi tampak berbentuk lebih kotak. Miokardium yang hiperkontraksi diselingi oleh miokardium yang meregang (hiperdistensi) seingkali terbagi oleh pelebaran diskus interkalatus. Pita-pita non eosinofilik dari sarkomer-sarkomer yang hiperkontraksi diselingi sarkomer yang meregang kadang tampak sebagai sarkomer yang terpisah (Bockhold dan Schneider, 2003).

E. Penelitian Paparan Medan Listrik Terhadap Hewan

Penelitian-penelitian yang dilakukan dari tahun 1960 hingga tahun 1980 memang menunjukkan adanya pengaruh medan elektrostatik tegangan tinggi pada makhluk hidup. Percobaan menggunakan ayam dan burung merpati yang dimasukkan kedalam medan elektrostatik 30Kv/m menunjukan

adanya kesulitan makan karena paruhnya yang selalu gemetar. Medan elektrostatik juga dapat diketahui dapat menurunkan parameter fertilitas tikus jantan dan kecacatan lahir pada anaknya (Kanedi dkk, 2007).

Percobaan menggunakan medan elektrostatik bertegangan 7Kv/m pada mencit yang sedang hamil dalam kandungan cenderung lebih lambat kemampuan rightingnya (gerak reflex pada hewan untuk mempertahankan orientasi tubuh) dibandingkan yang tidak diberikan perlakuan (Kanedi dkk, 2007).

Pada mencit medan listrik dapat diketahui dapat menghambat perkembangan struktur tubuh antara lain pada organ-organ reproduksi berupa kerusakan pada sel-sel epitel spermatogenik dan sel-sel penghasil hormon steroid sehingga hewan tersebut mengalami penuaan seksual dini (Kanedi dkk, 2007).

Selain itu para peneliti lain juga telah melakukan serangkaian percobaan diantaranya Edward terhadap sejumlah serangga Lepidoptera, Krueger terhadap ayam dan Marino terhadap mencit. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan adanya pengaruh medan magnet terhadap fungsi reproduksi, hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa selain menghambat pertumbuhan dan meningkatkan jumlah kematian pada keturunannya, ternyata medan listrik juga menyebabkan secara nyata (Kanedi dkk, 2007).

Penelitian Soeradi dan Tadjudin tahun 1986 pada tikus melaporkan bahwa pada hewan percobaan yang tepanjang dengan medan elektrostatik didapatkan serta kenaikan angka kematian pada anak-anaknya, disamping itu juga ditemukan terjadinya penyusutan jumlah sel-sel germinal, dalam penelitian lebih lanjut menurut Soeradi tahun 1987 apabila dengan menggunakan medan listrik statis, memberikan pemajanan pada tikus dan terlihat bahwa pada tingkat 6 kV/10 cm dan 7kV/10 cm selama 1 jam per hari (30 hari terus menerus), menimbulkan penyusutan berat testis kerusakan sel-sel tubulus seminiferus, terjadi kelainan kongenital pada anak seperti mikroftalmia, bulu kasar disekitar kepala dan penyempitan gelang pinggul.