



**PERBEDAAN KERUSAKAN OTOT JANTUNG TIKUS
WISTAR AKIBAT PAPAN ARUS LISTRIK
SECARA LANGSUNG DAN MELALUI MEDIA AIR**

**LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN KARYA TULIS
ILMIAH**

Diajukan untuk memenuhi tugas dan
melengkapi syarat dalam menempuh
Program Pendidikan Sarjana
Fakultas Kedokteran

DISUSUN OLEH:

**ANGGIT PUDJIASTUTI
NIM: G2A005012**

**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2009**

HALAMAN PENGESAHAN

**LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN KARYA TULIS ILMIAH
PERBEDAAN KERUSAKAN OTOT JANTUNG TIKUS *WISTAR* AKIBAT
PAPARAN ARUS LISTRIK SECARA LANGSUNG DAN MELALUI
MEDIA AIR**

Yang disusun oleh :

ANGGIT PUDJIASTUTI
NIM : G2A005012

Telah dipertahankan di depan tim penguji KTI Fakultas Kedokteran
Universitas Diponegoro Semarang pada tanggal 13 Agustus 2009
dan telah diperbaiki sesuai dengan saran-saran yang diberikan.

TIM PENGUJI

Ketua Penguji,

Penguji,

Dr. Udadi Sadhana, Mkes, Sp.PA
NIP.131967650

dr. Gatot Suharto SpF. Mkes SH
NIP. 131610341

Pembimbing,

Dr. Santosa Sp.F
NIP 130701410

DAFTAR ISI

1. Halaman Judul	i
2. Halaman Persetujuan.....	ii
3. Daftar Isi	iii
4. Daftar Gambar.....	v
5. Daftar Tabel.....	vi
6. Daftar Lampiran.....	vii
7. Abstrak Bahasa Indonesia	viii
8. Abstrak Bahasa Inggris	ix
9. BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
10. BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Listrik	4
2.1.1 Pengertian.....	4
2.1.2 Konduktivitas Listrik	5
2.1.3 Hukum-hukum Kelistrikan	6
2.2 Kelistrikan Tubuh	7
2.3 Jantung	8
2.3.1 Histologi Otot Jantung	8
2.3.2 Kelistrikan Jantung	9
2.4 Trauma Sengatan Listrik	11
2.4.1. Mekanisme Trauma Sengatan Listrik	12
2.4.2. Faktor-faktor yang Berpengaruh	13
2.4.3. Sengatan Listrik Dalam Air	17
2.4.4. Kerusakan Jantung Akibat Sengatan Listrik	18
2.5 Kerangka Teori	21
2.6 Kerangka Konsep	22

2.7 Hipotesis Penelitian	22
11. BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Ruang Lingkup Penelitian	23
3.2 Rancangan Penelitian	23
3.3 Populasi dan Sampel	24
3.3.1 Populasi	24
3.3.2 Sampel	24
3.3.2.1 Kriteria Inklusi dan Eksklusi	24
3.3.2.2 Besar Sampel	24
3.3.2.3 Cara Pengambilan Sampel	24
3.4 Variabel Penelitian	25
3.4.1 Variabel Bebas	25
3.4.2 Variabel Tergantung	25
3.5 Alat dan Bahan	25
3.5.1 Alat	25
3.5.2 Bahan	26
3.6 Cara Pengumpulan Data	26
3.7 Data yang Dikumpulkan	28
3.8 Alur Kerja	28
3.9 Definisi Operasional	29
3.10 Pengolahan dan Analisa Data	29
12. BAB IV HASIL PENELITIAN	30
13. BAB V PEMBAHASAN	32
14. BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	36
15. Daftar Pustaka	37
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1. Gambaran Histologi Normal Otot Jantung 9
- Gambar 2. Gambaran Perubahan Inti Sel Berbentuk Persegi pada MFB..... 33
- Gambar 3. Gambaran mikroskopis otot jantung tikus *Wistar* setelah diberi paparan arus listrik secara langsung (Pengecatan HE, Perbesaran 400x) 34
- Gambar 4. Gambaran mikroskopis otot jantung tikus *Wistar* setelah diberi paparan arus listrik melalui media air (Pengecatan HE, Perbesaran 400x)....34

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data Prosentase Kerusakan Otot Jantung (myocardium) Tikus *Wistar* .30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Statistik

Lampiran 2. Surat Ijin

PERBEDAAN KERUSAKAN OTOT JANTUNG TIKUS WISTAR AKIBAT PAPAN ARUS LISTRIK SECARA LANGSUNG DAN MELALUI MEDIA AIR

Anggit Pudjiastuti*, Santoso**

ABSTRAK

Latar Belakang: Papan arus listrik pada tubuh dapat berakibat fatal yaitu kematian. Mekanisme terbanyak penyebab kematian akibat sengatan listrik adalah terpengaruhnya kelistrikan normal jantung oleh arus listrik dari luar. Kematian tidak hanya terjadi saat tubuh berkontak langsung dengan sumber listrik, tetapi dapat juga terjadi saat arus listrik mengalir di dalam air. Air menyebabkan tahanan kulit turun namun air sebagai penghantar juga memiliki tahanan terhadap arus listrik yang melewatinya.

Tujuan: Mengetahui perbedaan kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat papan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

Metode: Penelitian eksperimental laboratorik dengan rancangan *the post test only group design*. Sampel 10 tikus *Wistar* dibagi dalam 2 kelompok. Tiap kelompok terdiri 5 ekor tikus. Kelompok perlakuan 1 (P1) diberi papan arus listrik 200mA selama 20 detik secara langsung. Kelompok perlakuan 2 (P2) diberi papan arus listrik 200mA selama 20 detik melalui media air. Pengamatan dilakukan secara mikroskopis terhadap otot jantung tikus *Wistar* yang telah diberi pengecatan Hematoksin Eosin. Kerusakan otot jantung dinilai dari prosentase inti sel yang berbentuk persegi (MFB) dalam satu preparat.

Hasil: Uji hipotesis *independent t-test* didapatkan hasil $p=0,000$ yang berarti terdapat perbedaan bermakna antara prosentase kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat papan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

Kesimpulan: Terdapat perbedaan kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat papan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

Kata Kunci: kerusakan otot jantung, papan listrik secara langsung, papan listrik melalui media air

* Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

** Staf Pengajar Bagian Ilmu Kedokteran Forensik Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

**THE DIFFERENCES OF CARDIAC MUSCLE DAMAGE AT WISTAR
RAT RESULTED BY EXPOSURE OF DIRECT AND WATER
CONDUCTED ELECTRICAL CURRENT**

Anggit Pudjiastuti*, Santoso**

ABSTRACT

Background: Electrical exposure may result in death. The most common cause of death by electrocution is usually said to be a disturbance in cardiac electric conduction. Death by electrocution is not only caused by direct contact with the electrical conductor but also caused by water conducted electricity. Water as an electrical conductor has its own resistivity although it can reduce the skin resistance.

Purpose: To define the differences of cardiac muscle damage at *Wistar* rat resulted by exposure of direct and water conducted electrical current.

Method: Laboratory experimental research using the post test only group design. 10 *Wistar* rats as samples are divided into two groups. Each group contains of 5 *Wistar* rats. At P1 group, the rats contact with 220 volts and 200 mA electrical current for 20 seconds. At P2 group, the rats contact with 220 volts and 200 mA electrical current for 20 seconds but the current is conducted by water. The cardiac muscle stained by Hematoxylin Eosin were observed using microscope. The damage of cardiac muscle was assessed from the percentage of myocardial square nuclei (MFB) in one sample.

Result: The result of Independent-t test is there is a significant difference of the number of cardiac muscle damage resulted by exposure of direct and water conducted electrical current ($p = 0,000$).

Conclusion: There is a difference of cardiac muscle damage at *Wistar* rat resulted by exposure of direct and water conducted electrical current.

Keywords: cardiac muscle damage of *Wistar* rat, direct electrical current, water conducted electrical current.

*Student of Faculty of Medicine Diponegoro University, Semarang

**Staff on Forensics Department Faculty of Medicine Diponegoro University, Semarang

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kasus-kasus kematian tidak wajar dalam masyarakat pada akhirnya akan melibatkan dokter dan pihak kepolisian untuk mengidentifikasi apa yang telah menjadi penyebabnya. Pengidentifikasi ini penting dalam kaitannya dengan penyelesaian masalah klaim asuransi korban, kasus kecelakaan kerja, kecerobohan, atau bahkan masalah pidana. Dokter berperan sebagai saksi ahli yang diharapkan dapat membantu penegak hukum mengungkap kebenaran materiil.¹

Kasus kematian akibat sengatan listrik adalah salah satu diantara banyak penyebab kematian tidak wajar dalam masyarakat. Tidak ada tanda post-mortem yang khas pada kasus kematian akibat sengatan listrik. Arus listrik baru didiagnosa sebagai penyebab kematian jika ditemukan adanya konduktor listrik di sekitar Tempat Kejadian Perkara (TKP), adanya saksi yang melihat secara langsung bahwa telah terjadi paparan listrik pada korban, atau jika ditemukan adanya luka bakar tanpa diketahui ada penyebab lain.²

Kematian akibat sengatan listrik pertama kali diketahui terjadi pada seorang tukang kayu di Lyons, Perancis pada tahun 1879 akibat kontak langsung dengan generator arus AC bertegangan 250 Volt.^{3,4} Kematian akibat sengatan listrik juga dapat terjadi saat arus mengalir melalui air atau saat tubuh korban

sedang terendam dalam air. Luka bakar yang selama ini dijadikan petunjuk saat autopsi akan lebih sulit ditemukan bila kasus sengatan listrik terjadi di dalam air.⁵

Air adalah penghantar (konduktor) arus listrik. Air sebagai media penghantaran arus listrik mempengaruhi besar energi listrik yang mengalir di dalamnya. Air menyebabkan tahanan tubuh menjadi rendah sehingga arus listrik yang masuk dan merusak organ-organ dalam akan lebih besar. Meskipun demikian, air memiliki tahanan sendiri terhadap arus listrik yang melewatinya.⁶

Mekanisme terbanyak yang menjadi penyebab kematian akibat sengatan listrik adalah adanya gangguan kelistrikan jantung. Kelistrikan jantung yang abnormal mengakibatkan ketidakaturan kontraksi otot jantung. Akibatnya terjadi fibrilisasi ventrikel, ventrikel asistol, dan berlanjut dengan kematian akibat gangguan suplai darah ke seluruh tubuh.⁷ Kekacauan dan ketidaksinkronan listrik jantung menyebabkan adanya gambaran mikroskopis berupa Myofibre Break-up (MFB) pada otot jantung.⁸

Berangkat dari fakta-fakta tersebut di atas, penulis bermaksud mengadakan penelitian eksperimental untuk membedakan kerusakan otot jantung akibat trauma sengatan listrik secara langsung dan melalui media air. Penelitian ini menggunakan hewan coba tikus *Wistar* karena secara etik tidak mungkin melakukan eksperimen pada manusia dan karena sifat tikus *Wistar* yang homolog dengan manusia.⁹

1.2. Perumusan masalah

Apakah terdapat perbedaan kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air?

1.3. Tujuan penelitian

1.3.1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

1.3.2. Tujuan Khusus

1. Menilai kerusakan otot jantung tikus *Wistar* pada kelompok yang diberi kuat arus listrik 200mA secara langsung selama 20 detik.
2. Menilai kerusakan otot jantung tikus *Wistar* pada kelompok yang diberi kuat arus listrik 200mA melalui media air selama 20 detik
3. Membedakan kerusakan otot jantung tikus *Wistar* yang diberi kuat arus listrik 200mA selama 20 detik secara langsung dan melalui media air.

1.4. Manfaat penelitian

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi bagi:

1. Peneliti lain mengenai perbedaan gambaran kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik, tegangan, dan lama paparan yang sama secara langsung dan melalui media air
2. Sebagai tambahan informasi sehubungan dengan tanda-tanda kematian akibat sengatan listrik dalam kaitannya dengan Ilmu Kedokteran Forensik dan Medikolegal

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Listrik

2.1.1. Pengertian

Listrik adalah kondisi partikel subatomik tertentu seperti proton dan elektron yang mengakibatkan penarikan dan penolakan gaya diantaranya. Arus listrik adalah aliran elektron dari titik yang mempunyai tegangan potensial tinggi menuju potensial rendah melalui suatu penghantar listrik (konduktor). Sewaktu muatan listrik bergerak dari titik potensial tinggi ke potensial rendah, energi potensialnya diubah ke dalam berbagai bentuk energi yang lain yang dimanfaatkan manusia dalam kehidupannya.

Dalam alirannya melalui konduktor, elektron mengalami tahanan dari bahan yang dilewatinya sehingga gerakan elektron berkurang. Hambatan suatu konduktor terhadap aliran muatan disebabkan oleh benturan yang terjadi antara elektron-elektron yang bergerak dengan atom-atom stasioner. Hambatan listrik dinyatakan dengan satuan Ohm (Ω).¹⁰

Kuat arus adalah kecepatan pemindahan elektron dalam waktu tertentu. Dinyatakan dalam satuan Ampere (A). Elektron dapat mengalir bila ada suatu penggerak yang disebut Gaya Gerak Listrik atau Tegangan. Satuan tegangan listrik adalah Volt (V).¹⁰

Ada dua macam gelombang arus listrik. Pertama yaitu gelombang bolak-balik dimana arah arusnya berbalik tiap setengah putaran sehingga disebut

arus bolak-balik (Alternating Current/AC). Kedua yaitu gelombang searah yang arusnya selalu mengalir dalam satu arah sehingga disebut arus searah (Direct Current/DC).

2.1.2 Konduktivitas Listrik

Konduktor adalah materi yang dapat menghantarkan arus listrik dengan bebas. Konduktivitas listrik atau daya hantar listrik adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Lawan dari konduktivitas listrik adalah resistivitas listrik. Konduktivitas listrik dalam cairan dipengaruhi oleh keberadaan ion-ion yang terlarut. Ion-ion yang berpengaruh dalam penghantaran ini disebut dengan elektrolit. Konduktivitas elektrolit dalam suatu cairan dipengaruhi oleh konsentrasi ion, mobilitas ion, status oksidasi, dan temperatur cairan.⁶

Cairan memiliki kemampuan menghantar arus listrik karena kandungan ion-ion di dalamnya. Ion-ion yang mengalirkan arus listrik dihasilkan dari proses pelarutan (disosiasi) garam dalam air. Tiap ion hanya dapat membawa muatan listrik dalam jumlah tertentu. Sehingga semakin banyak ion yang terkandung dalam suatu larutan garam, semakin banyak muatan listrik dan arus listrik yang dialirkan.⁶

Hantaran listrik dalam cairan juga dipengaruhi oleh suhu cairan. Semakin tinggi suhu zat cair, semakin rendah kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. hal ini dipengaruhi oleh ion Hidrogen (H^+) dan ion Hydroxide (OH^-). Peningkatan suhu mengakibatkan hambatan mobilitas ion-ion tersebut. Dari penelitian ditemukan bahwa setiap kenaikan suhu $1^{\circ}C$

akan terjadi penurunan hantaran listrik kurang lebih 2% (dengan batas rentang 1%-3%).⁶

2.1.3. Hukum-hukum kelistrikan

Biolistrik merupakan fenomena kelistrikan dalam organisme kehidupan mulai tingkat seluler hingga sistem organ. Sel-sel mampu menghasilkan potensial listrik yang merupakan lapisan tipis muatan positif pada permukaan luar dan lapisan tipis muatan negatif pada permukaan dalam bidang/batas membran.⁶

Ada beberapa rumus atau hukum yang berkaitan dengan biolistrik.^{11,12} Hukum Ohm menyatakan bahwa perbedaan potensial antara ujung konduktor berbanding langsung dengan arus yang melewati dan berbanding terbalik dengan tahanan dari konduktor. Bila dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{I=V/R}$$

R= Tahanan (Ω)

I= Kuat Arus (A)

V= Tegangan (V)

Hukum joule menyatakan bahwa arus listrik yang melewati konduktor dengan perbedaan tegangan dan dalam waktu tertentu akan menimbulkan panas. Hal ini dinyatakan dalam rumus:

$$\mathbf{H=V.I.T/J} \quad \mathbf{atau} \quad \mathbf{H=I^2.R.T}$$

H= Energi panas yang ditimbulkan (Kalori)

V= tegangan listrik (V)

I= Kuat Arus (A)

T= Waktu (s)

J= Joule, dimana 1 Joule = 0,239 Kalori

R= Tahanan (Ω)

2.2. Kelistrikan Tubuh

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.¹¹

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.¹¹

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 terus-menerus 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.^{11,12}

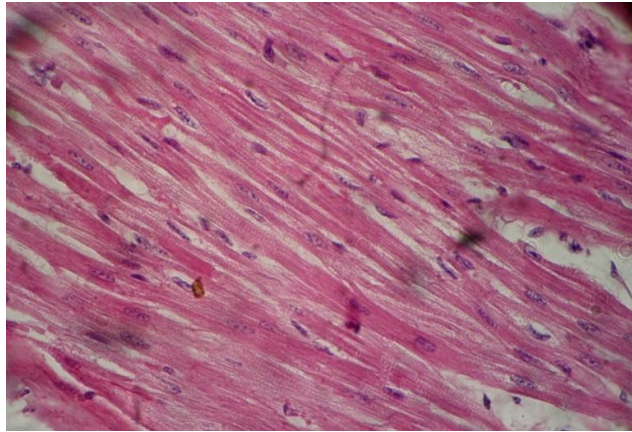
2.3. Jantung

2.3.1. Histologi Otot Jantung

Jantung terdiri atas tiga tipe otot jantung (miokardium) yang utama yakni: 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.¹²

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 rantai-rantai otot, yang terpulas gelap, ditemukan pada interval tak teratur pada otot jantung, dan merupakan kompleks tautan khusus antar serat-serat otot yang berdekatan.¹³

Struktur dan fungsi dari protein kontraktile dalam sel otot jantung pada dasarnya sama dengan otot rangka. Terdapat sedikit perbedaan dalam struktur antara otot atrium dan ventrikel.¹⁴



Gambar 1. Histologi normal otot jantung (Pengecatan Hematoksin Eosin, Perbesaran 400x)
Dikutip dari CD praktikum Histologi 1 Bagian Histologi Fakultas Kedokteran
Universitas Diponegoro, editor: Neni Susilaningsih, tahun 2006¹⁵

2.3.2. 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.¹²

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.^{12,14}

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.¹²

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.¹²

2.4 Trauma sengatan listrik

Trauma sengatan listrik merupakan suatu kerusakan jaringan tubuh akibat adanya aliran arus listrik dalam tubuh. Dalam sirkuit listrik ini tubuh bertindak sebagai konduktor aliran elektron dari titik masuk menuju titik keluar yang berupa suatu konduktor netral atau tanah.¹⁷ Dalam alirannya melewati tubuh, arus listrik selalu mencari rute terpendek dan tercepat menuju titik keluarnya.^{2, 16, 17}

Trauma sengatan listrik akan menjadi sangat berbahaya apabila melewati organ vital tubuh seperti jantung, otot-otot pernapasan, dan otak. Dari berbagai kasus trauma sengatan listrik disimpulkan bahwa ada beberapa jalur utama kasus sengatan listrik yang paling sering ditemukan di masyarakat.

Jalur pertama yaitu arus listrik masuk melalui tangan yang sedang memegang suatu konduktor beraliran listrik kemudian arus mengalir mencari rute terpendek menuju konduktor netral berupa tanah melalui kaki. Pada jalur obliq ini besar kemungkinan arus listrik melewati organ jantung yang mempunyai sistem kelistrikan sendiri untuk kemudian mengganggu proses kelistrikan jantung. Bila

tangan sisi kontralateral ternyata memegang suatu bahan konduktor listrik, maka arus listrik dari tangan akan mengalir ke tangan kontralateral yang sedang memegang konduktor.^{3,16}

Dua jalur berikutnya yang lebih jarang terjadi namun tetap menyebabkan kefatalan yaitu bila arus listrik melewati rongga dada atau perut. Menyebabkan spasme otot pernapasan dan diafragma sehingga terjadi gagal napas, Bila sumber listrik bertegangan tinggi ada di atas kepala kemudian masuk melalui kepala untuk mengalir menuju tanah, tentu saja arus listrik akan melewati otak dan medulla spinalis.¹⁶

2.4.1 Mekanisme Trauma Sengatan Listrik

Para ahli menyatakan adanya beberapa mekanisme yang memungkinkan terjadinya kerusakan sel, jaringan, maupun organ akibat sengatan arus listrik pada tubuh. Bagaimana patofisiologi yang tepat pada trauma karena sengatan listrik masih belum dapat terjawab sempurna karena adanya banyaknya variabel yang tidak dapat dikontrol ketika suatu arus listrik melalui jaringan hidup.³

Pertama karena energi listrik yang langsung berpengaruh pada organ tubuh.^{16, 17} Potensial membran otot jantung dan otot pernapasan terganggu oleh adanya aliran listrik. Pada sengatan listrik dikenal pula suatu proses elektroporasi yaitu pembentukan lubang-lubang pada membran sel. Terjadi kematian sel tanpa ada pemanasan yang signifikan karena tingginya paparan medan listrik.¹⁷ Secara teoritis, membran sel pada sel-sel besar seperti otot dan saraf lebih mudah rusak.³

Kedua karena energi listrik yang masuk ke dalam tubuh diubah menjadi energi panas yang menyebabkan terjadinya denaturasi protein dan nekrosis koagulasi.^{3,17} Energi listrik yang diubah menjadi energi panas mengikuti hukum Joule. Energi panas yang terbentuk sebanding dengan kuadrat kuat arus, resistensi jaringan, dan lama paparan.³

Disamping itu juga ditemukan efek sekunder sengatan listrik berupa trauma mekanik pada sendi dan tulang karena jatuh terlempar saat tersengat suatu konduktor arus listrik. Arus listrik bolak-balik selalu berbalik arah dalam waktu tertentu merangsang otot untuk berkontraksi terus-menerus. Kontraksi otot terus-menerus yang kuat dapat membuat seseorang jatuh dan terlempar.^{7,17}

2.4.2 Faktor-faktor yang Berpengaruh

Kerusakan karena sengatan listrik dapat ditemukan mulai dari kerusakan ringan hingga kerusakan fatal yang dapat mengakibatkan kematian. Ada beberapa hal yang mempengaruhi tingkat keparahan trauma sengatan listrik.

1. Jenis Arus

Tetani lebih banyak terjadi pada arus listrik bolak-balik dengan frekuensi rendah antara 15 sampai 150 Hz. Tetani memperpanjang lama waktu paparan karena ketidakmampuan tangan untuk melepaskan konduktor sumber listrik.¹⁸ Sayangnya frekuensi transmisi listrik yang digunakan dalam kehidupan biasanya adalah sekitar 60 Hz, sehingga kemungkinan besar terjadi tetani saat listrik menyengat tubuh.

Disamping itu juga karena peralatan kehidupan lebih banyak menggunakan arus AC dibandingkan arus DC, sehingga kasus sengatan listrik sebagian besar terjadi karena arus AC. Maka dari itu dikatakan bahwa arus listrik AC adalah lebih berbahaya dibanding arus DC.¹⁶

2. Tegangan

Tegangan listrik diartikan sebagai perbedaan potensial listrik antara dua titik pada konduktor listrik. Pada trauma akibat sengatan listrik, jenis tegangan dibagi atas 2 bagian yaitu tegangan tinggi (>1000 volt) dan tegangan rendah (<1000 volt).^{3,17} Sebagian besar distribusi listrik rumah tangga adalah 110-220 Volt. Bila diaplikasikan dengan hukum Ohm, didapatkan bahwa semakin besar tegangan, kuat arus yang dialirkan juga semakin besar. Aliran elektron ke dalam tubuh juga semakin besar. Dikatakan bahwa listrik tegangan tinggi menyebabkan kerusakan lebih parah dibanding listrik tegangan rendah. Listrik tegangan tinggi lebih mudah merusak organ-organ dalam tubuh.^{3,19}

3. Kuat Arus

Sesuai hukum Ohm yang telah dibahas di depan, bahwa kuat arus sebanding dengan besar tegangan dan berbanding terbalik dengan resistensi. Nilai tegangan suatu sumber listrik dapat diketahui pada tiap sumber listrik. Nilai resistensi berbeda-beda pada tiap jaringan dan selalu berubah tiap terjadi kerusakan jaringan. Sehingga sangatlah

sukar untuk menentukan berapa nilai pasti arus listrik yang telah merusak jaringan. Efek sistemik dan kerusakan jaringan sebanding dengan arus listrik.³

Sensasi kejutan listrik oleh arus listrik bolak-balik dengan frekuensi 60 Hz terjadi pada arus 1 mA. Tremor otot dapat terjadi pada 5 mA. Sedangkan pada arus 16-20 mA menyebabkan kontraksi otot dan disertai kesukaran melepas konduktor yang disebut dengan *no-let-go current*. Kuat arus 20-50 mA menyebabkan paralisis otot pernapasan dan pada arus 100 mA menyebabkan fibrilisasi ventrikel. Arus 2-5 A menyebabkan ventrikel asistol.³

4. Tahanan

Adalah kemampuan suatu materi untuk menghambat aliran arus listrik. Tahanan berbeda-beda pada tiap jaringan tubuh tergantung pada cairan sel, kelembaban, temperatur, dan faktor-faktor fisis lainnya.^{3,4} Sel saraf dan otot yang memang memiliki kemampuan penghantaran listrik karena adanya elektrolit disekitar membran selnya, mempunyai tahanan yang rendah. Sedangkan tahanan terbesar dalam tubuh ditemukan pada tendon, lemak, dan tulang karena mengandung massa inert yang lebih besar dibanding jaringan tubuh lain.

Kulit merupakan penahan (resistor) tubuh terbesar terhadap suatu aliran listrik. Tahanan kulit tergantung ketebalan lapisan keratin epidermis. Karenanya kulit telapak kaki dan tangan memiliki tahanan

terbesar. Selain itu juga tergantung pada kondisi kering atau basahnya kulit.^{4,19}

Hukum Joule mengatakan bahwa semakin besar tahanan maka akan semakin besar energi listrik yang diubah menjadi energi panas. Aplikasinya adalah semakin besar tahanan kulit maka energi panas yang dihasilkan juga semakin besar. Sehingga kerusakan jaringan sekitar yang bersifat lokal juga akan semakin besar dan luka bakar semakin nyata.^{4,7,16}

Sebaliknya, semakin rendah resistensi jaringan tubuh maka semakin kecil energi listrik yang diubah menjadi energi panas, namun arus listrik akan langsung merusak organ dalam. Kejadian kerusakan organ dalam yang fatal karena penurunan tahanan tubuh merupakan salah satu penyebab kematian akibat suatu sengatan yang terjadi di bak mandi (*bathub*).²

5. Arah aliran

Arah aliran listrik saat tersengat mempengaruhi tingkat keparahan trauma, bentuk luka, dan tingkat perubahan energi listrik menjadi energi panas. Jika arus listrik melalui jantung dapat menyebabkan gangguan pada sistem konduksi listrik jantung kemudian terjadi disritmia jantung dan berakhir dengan kematian. Bila aliran listrik melalui rongga dada dan perut dapat menyebabkan spasme otot-otot pernapasan dan diafragma yang berakibat terjadi apneu. Juga bila aliran listrik melalui otak, akan terjadi kejang,

perubahan kepribadian, kehilangan kesadaran. Demikian pula bila arus listrik melalui lensa mata dapat berakibat terjadi katarak.^{16,17,20}

6. Lama waktu paparan.

Semakin lama waktu paparan, sesuai hukum Joule, maka akan semakin besar energi panas yang merusak jaringan tubuh.⁴

2.4.3. Sengatan Listrik di Dalam Air

Air sebagai mediator diperkirakan akan mempengaruhi waktu hantaran dari konduktor ke tubuh. Air adalah semikonduktor yang juga mempunyai tahanan sendiri terhadap aliran arus listrik. Saat arus listrik menyengat korban yang sedang terendam dalam air, permukaan masuknya arus listrik menjadi sangat luas dan tahanan kulit menjadi sangat rendah. Jika tahanan tubuh semakin rendah, arus listrik yang masuk tubuh semakin besar sehingga lebih merusak organ-organ dalam.² Tidak adanya kontak langsung dengan konduktor listrik berakibat tidak ditemukan gambaran luka bakar di kulit. Gambaran luka bakar di kulit tidak menunjukkan tingkat keparahan organ dalam.

Pada tahun 1995 sampai 1999 di Berlin ditemukan 41 kasus kematian akibat sengatan listrik di kamar mandi. Kematian pada 38 kasus terjadi di dalam bathub berisi air, 1 kasus terjadi pada bathub tidak berisi air, dan pada 2 kasus ditemukan air menggenang di sekeliling tubuh korban. Pada 2 dari 41 kasus tersebut ditemukan adanya garis-garis pucat pada perbatasan kulit yang terendam dan yang tidak. Fenomena ini disebut *border zone phenomenon* yang tidak selalu dapat ditemukan pada kasus sengatan listrik di air.⁵

2.4.4 Kerusakan Jantung Akibat Sengatan Listrik

2.4.4.1 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.

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 sinitium miokardium, memungkinkan dislokasi nodus pacemaker akibatnya sistem kelistrikan jantung terganggu.¹⁶

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.²¹ Jika korban tidak diresusitasi, pingsan akan

terjadi pada 10-15 menit. Kerusakan irreversibel terjadi dalam 3 menit dan kematian terjadi setelah 5-10 menit. Karena itulah sengatan listrik yang melalui jantung dikatakan menyebabkan fibrilisasi ventrikel yang dapat berlanjut menjadi aritmia dan berakhir dengan kematian.^{2,4,5,16,17,19}

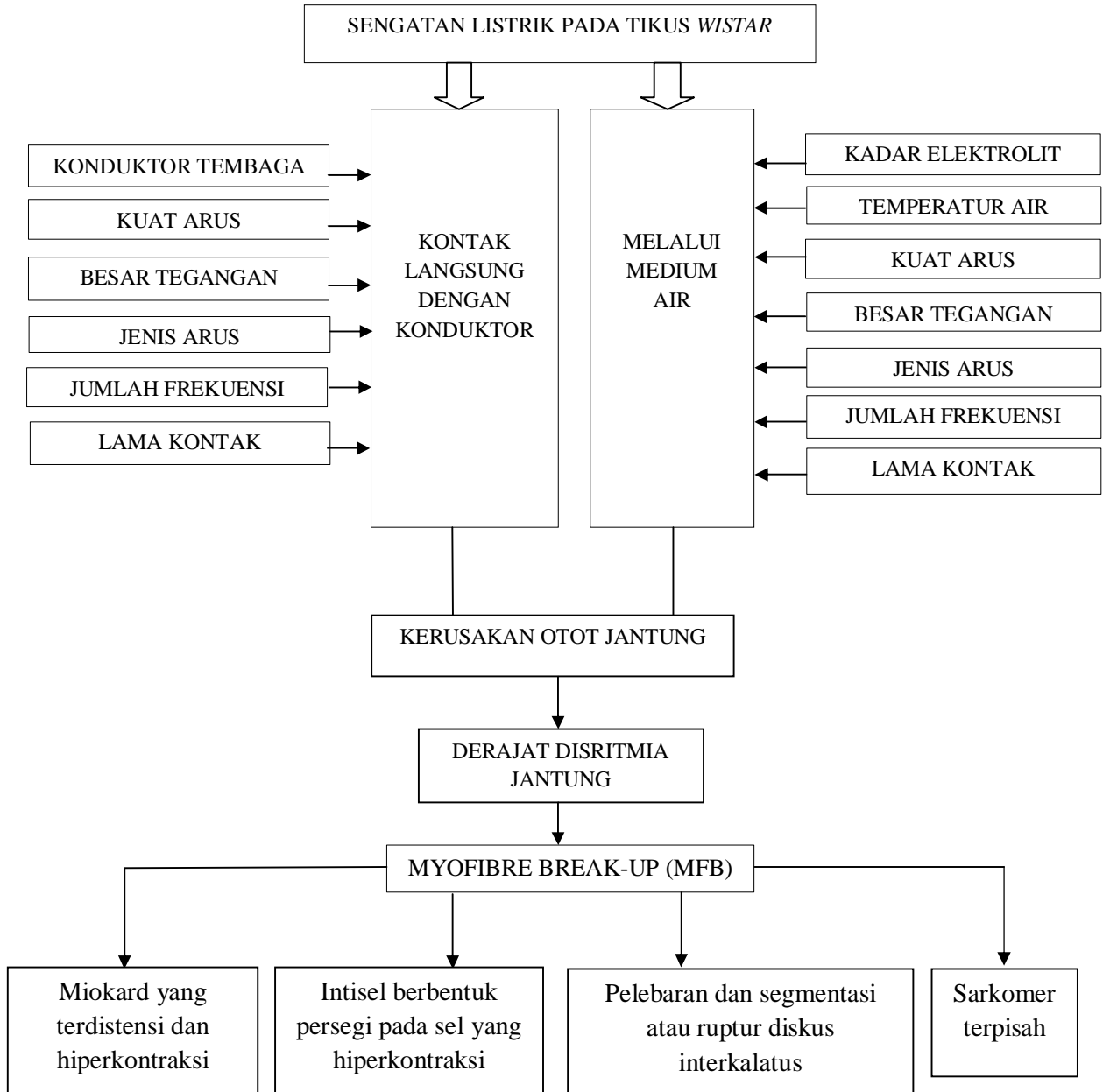
2.4.4.2 Pengaruh Terhadap Otot Jantung

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 kecacauan dan tidak sinkronnya aktivitas listrik dan dapat diinduksi oleh lewatnya arus listrik abnormal.⁸

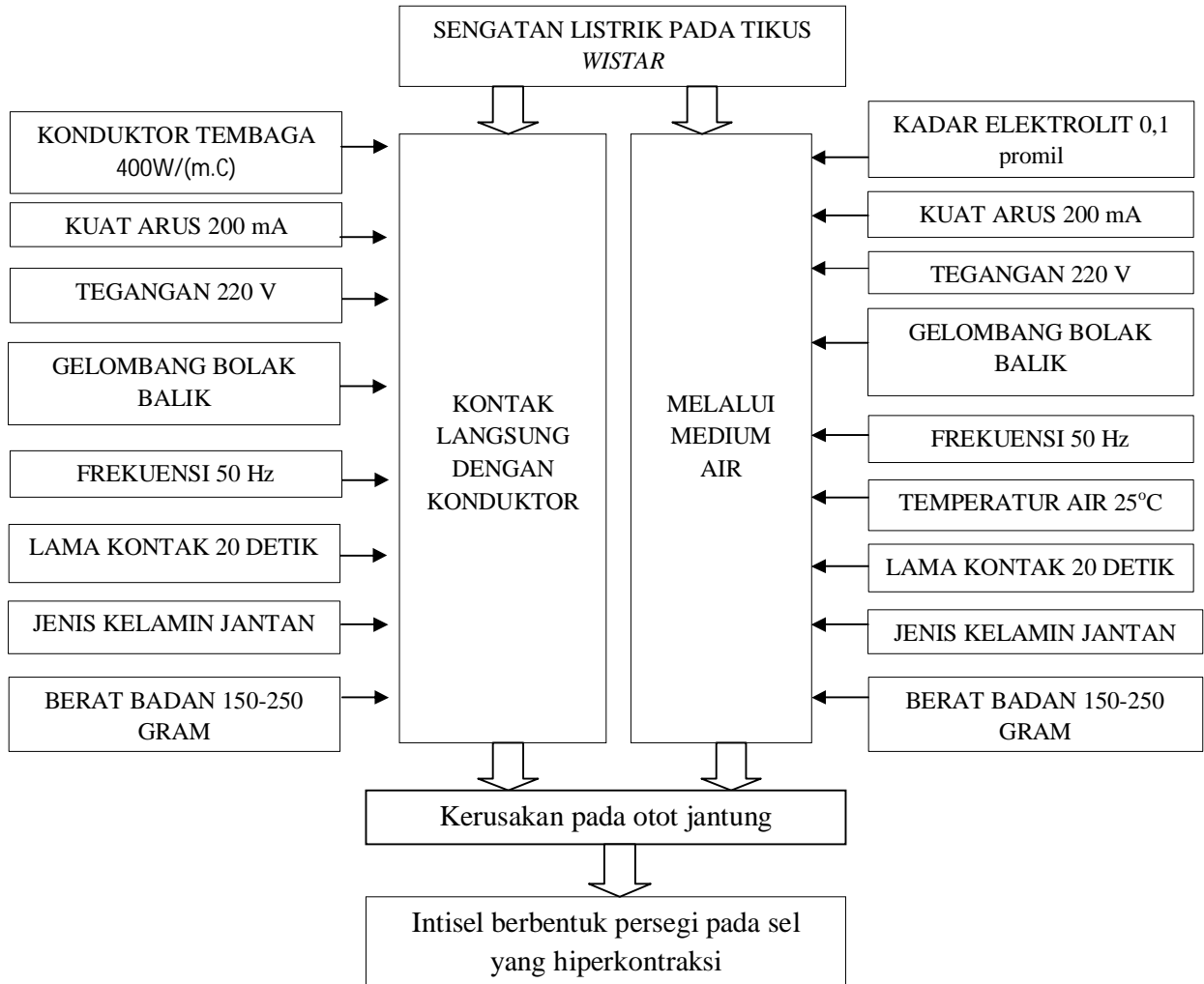
Istilah MFB didefinisikan sebagai berkas miokardium yang meregang diselingi miokardium yang hiperkontraksi. Ditemukan juga pelebaran dan ruptur (segmentasi) diskus interkalatus. Intisel miokardium pada sel yang hiperkontraksi tampak berbentuk lebih kotak. Miokardium yang hiperkontraksi diselingi oleh 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.⁸

2.5 Kerangka teori



2.6 Kerangka Konsep



2.7 HIPOTESIS PENELITIAN

Terdapat perbedaan kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Ruang Lingkup Penelitian

3.1.1 Lingkup tempat:

1. Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
2. Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang
3. Laboratorium Patologi Anatomi Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

3.1.2 Lingkup waktu : Maret 2009 - Mei 2009.

3.1.3 Lingkup ilmu : Ilmu Kedokteran Forensik, Ilmu Patologi Anatomi.

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik dengan rancangan penelitian *the post test only group design* yang menggunakan binatang coba sebagai obyek percobaan.

Skema rancangan penelitian untuk membuktikan perbedaan kerusakan otot jantung antara kelompok yang diberi paparan listrik secara langsung (P1) dan kelompok yang diberi paparan listrik melalui medium air (P2) sebagai berikut:



3.3 Populasi dan Sampel

3.3.1. Populasi

Populasi yang diteliti adalah tikus *Wistar*

3.3.2. Sampel

3.3.2.1 Kriteria inklusi

- a. Tikus jenis *Wistar* jantan
- b. Berat badan : 150– 250 gram
- c. Umur 3 – 4 bulan
- d. Anatomi tampak normal

3.3.2.2 Kriteria eksklusi

- a. Tikus sakit
- b. Tikus dengan berat badan lebih

3.3.2.3 Besar Sampel

Besar sampel penelitian sesuai dengan kriteria WHO (1993) yaitu minimal menggunakan 5 ekor tikus tiap 1 kelompok perlakuan. Oleh karena terdapat 2 kelompok perlakuan, maka dibutuhkan 10 ekor tikus *Wistar*.

3.3.2.4 Cara Pengambilan Sampel

Untuk menghindari bias karena faktor variasi umur dan berat badan maka pengambilan sampel dilakukan secara acak sederhana

(*simple random sampling*). Randomisasi langsung dapat dilakukan karena sampel diambil dari tikus *Wistar* yang sudah memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi sehingga dianggap cukup homogen. Semuanya diambil secara acak dari kelompok tikus yang sudah diadaptasi pakan selama 1 minggu.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

- Paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air

Skala : nominal

3.4.2 Variabel Tergantung

- Gambaran kerusakan otot jantung

Skala : rasio

3.5 Alat dan Bahan

3.5.1 Alat

3.5.1.1 Alat untuk mengukur kadar salinitas air

Refraktometer

3.5.1.2 Alat untuk mengukur temperatur air

Termometer

3.5.1.3 Alat untuk paparan listrik

- a. Multimeter
- b. Wadah dari kaca

3.5.1.2 Alat untuk pemeriksaan histopatologis

- a. Pisau skalpel

- b. Pinset bedah
- c. Gunting
- d. Mikroskop
- e. Object glass
- f. Kamera digital

3.5.2 Bahan

Bahan-bahan untuk percobaan ini :

- 1. Aquades
- 2. Tikus *Wistar*
- 3. Asam pikrat
- 4. Bahan-bahan untuk metode baku histologi pemeriksaan jaringan:
 - a. Larutan *Bouin*
 - b. Larutan buffer formalin 10%
 - c. Parafin
 - d. Albumin
 - e. *Hematoksilin Eosin*
 - f. Larutan *Xylol*
 - g. Alkohol bertingkat 30%, 40%, 50%, 70%, 80%, 90%, 96%

3.6 Cara Pengumpulan Data

- 1. Melakukan adaptasi terhadap 10 ekor tikus *Wistar* jantan selama 7 hari di laboratorium dengan kandang tunggal dan memberi pakan standar serta minum secukupnya.

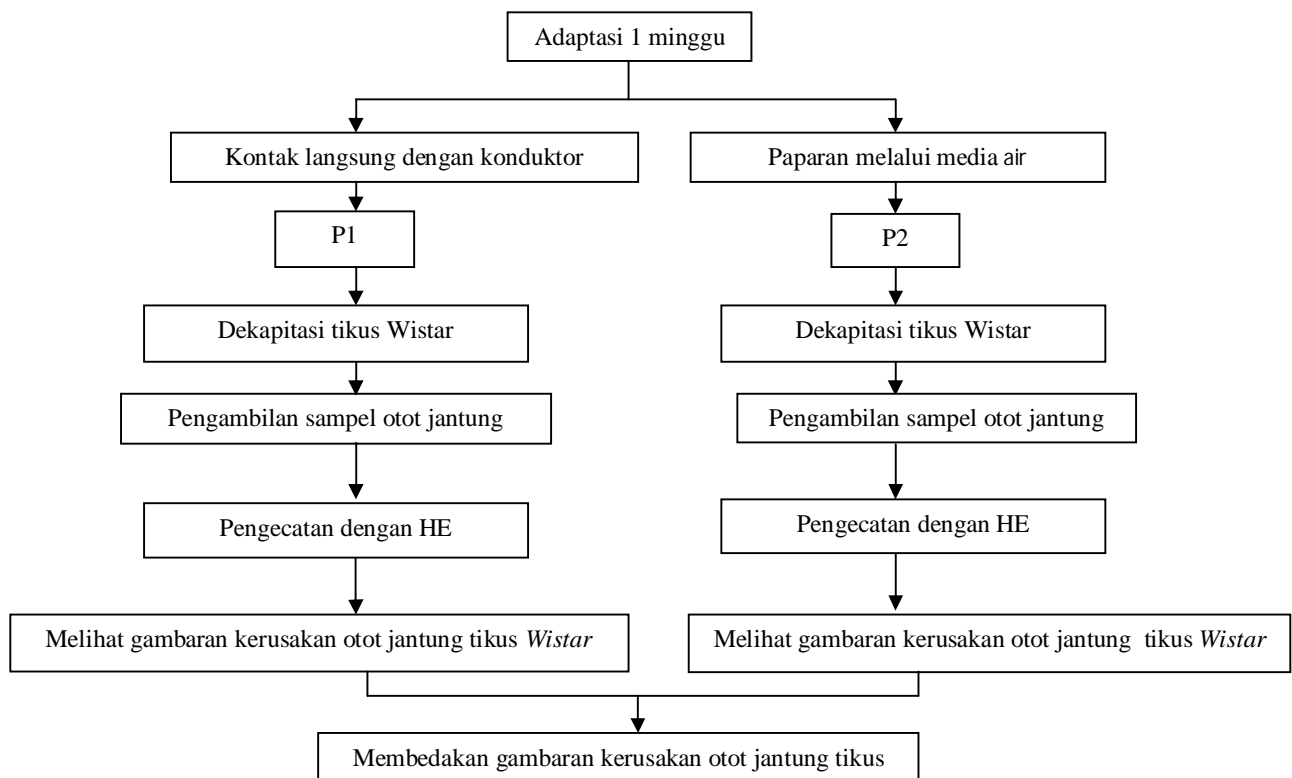
2. Pada hari kedelapan, membagi tikus *Wistar* menjadi 2 kelompok yang masing-masing terdiri dari 5 ekor tikus yang dipilih secara acak. Kemudian memberi tanda dengan asam pikrat pada daerah yang berbeda yaitu kepala dan punggung. Selanjutnya menimbang berat badan masing-masing tikus.
3. Memberi paparan listrik 200 mA, 60 Hz selama 20 detik secara langsung pada kelompok pertama (P1) dengan cara mengikatkan konduktor pada otot ekstremitas bagian depan (telapak) tikus *Wistar* bagian depan.
4. Mencilupkan ujung konduktor ke dalam wadah kaca berisi aquades 500 cc yang sudah diukur salinitasnya. Kemudian memasukkan tikus *Wistar* kelompok kedua (P2) ke dalam wadah kaca yang sudah berisi aquades tersebut. Selanjutnya memberi paparan listrik arus bolak-balik 200mA, 60Hz selama 20 detik.
5. Mematikan hewan coba yang belum mati dengan cara dislokasi leher, membaringkannya telentang.
6. Membuat irisan kecil pada kulit menggunakan gunting pada medial thorax. Mengambil organ jantung, membersihkannya dari jaringan ikat maupun pembuluh darah yang tersisa, kemudian meletakkannya di tabung kaca berisi cairan pengawet formalin 10% buffer.
7. Memotong jantung pada jaringan yang dipandang perlu guna dibuat sediaan mikroskopis. Kemudian memasukkannya ke dalam plastik sebelum diserahkan pada analis guna mengolahnya mengikuti metoda baku histologi dengan pewarnaan Hematoksilin Eosin.

8. Memberi label pada masing-masing sampel yang akan diperiksa. Dari setiap sampel jantung dibuat dua preparat yang masing-masing sampel dibaca dalam lima lapangan pandang dengan perbesaran 400x. sasaran yang dibaca adalah inti sel pada otot jantung yang berbentuk persegi (MFB).

3.7 Data yang Dikumpulkan

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer hasil penelitian gambaran kerusakan sel otot jantung tikus *Wistar* dari kelompok yang diberi paparan arus listrik secara langsung dibandingkan dengan kelompok yang diberi paparan listrik melalui media air.

3.8 Alur Kerja



3.9 Definisi Operasional

Variabel Penelitian:

1. Paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

Paparan arus listrik bolak-balik tegangan 220 Volt dengan kuat arus 200mA diberikan secara langsung dan melalui media air.

Satuan : miliampere (mA)

2. Gambaran kerusakan otot jantung

Prosentase inti sel berbentuk persegi dari lima lapangan pandang dalam satu preparat yang tampak di bawah mikroskop cahaya Olympus BX 41 dengan pembesaran 400x.

Satuan : % (prosentase)

3.10 Pengolahan dan Analisa Data

Data yang diperoleh diolah dengan program SPSS 15.0 *for Windows* kemudian dilakukan uji normalitas. Apabila distribusi data adalah normal, dilakukan uji hipotesis *independent-t test*. Sedangkan apabila distribusi data tidak normal, maka dipergunakan uji hipotesis *Mann Whitney test*.

BAB IV
HASIL PENELITIAN

Setelah proses eksperimen dan pengecatan selesai dilakukan pembacaan preparat dengan menggunakan mikroskop BX41. Dari hasil pembacaan preparat, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Data prosentase kerusakan otot jantung (myocardium) tikus *Wistar*

Nama Preparat	Prosentase Kerusakan Myokardium	Nama Preparat	Prosentase Kerusakan Myokardium
1 P1	33,6 %	1 P2	19,6 %
2 P1	34,4 %	2 P2	12,6 %
3 P1	32,4 %	3 P2	22,0 %
4 P1	28,6 %	4 P2	32,0 %
5 P1	20,0 %	5 P2	17,4 %

Dari hasil statistik deskriptif, pada kelompok P1 dimana hewan coba diberi paparan listrik secara langsung, didapatkan nilai mean 32,20 dengan standar deviasi (SD) 2,23. Sedangkan pada kelompok P2 dimana hewan coba diberi paparan listrik melalui media air, didapatkan mean 18,32 dengan standar deviasi (SD) 3,59.

Setelah dilakukan uji normalitas dengan menggunakan uji Shapiro-Wilk didapatkan nilai $p=0,447$ untuk kelompok P1 dan $p=0,508$ untuk kelompok P2.

Karena nilai $p > 0,05$, dapat diambil kesimpulan bahwa data prosentase kerusakan otot jantung pada kelompok P1 dan P2 mempunyai sebaran normal. Karena syarat sebaran data normal terpenuhi, maka uji hipotesis yang digunakan adalah uji *independent t-test*.

Pada uji hipotesis dengan menggunakan uji *independent T-test* didapatkan pada kotak Levene's test dengan nilai $p = 0,336$. Karena nilai $p > 0,05$ pada uji variansi, maka variansi data yang diuji adalah sama (homogen). Karena variansi data adalah sama maka hasil uji independent t-test yang digunakan adalah pada baris *equal variances assumed*, didapatkan $p = 0,000$ dengan perbedaan rerata (*mean difference*) sebesar 13,88. Karena $p < 0,05$, maka disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang bermakna antara kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

BAB V

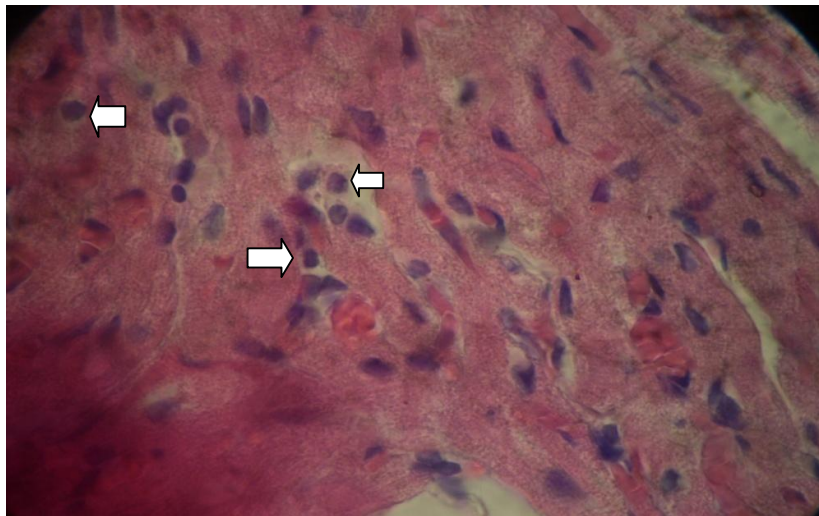
PEMBAHASAN

Paparan arus listrik pada tubuh organisme hidup menyebabkan kerusakan pada berbagai jaringan tubuh, salah satu diantaranya adalah organ jantung. Mekanisme terbanyak yang menjadi penyebab kematian akibat sengatan listrik adalah karena terganggunya kelistrikan jantung. Pada keadaan normal, listrik jantung memiliki kemampuan *self excitation* dari nodus sinoatrial yang kemudian menyebar ke atrium jantung untuk menuju ke serat purkinje di seluruh bagian ventrikel jantung. Serat purkinje menyebarkan impuls ke seluruh permukaan endokardium. Karakteristik kelistrikan jantung adalah potensial aksi selalu berjalan dari atrium ke ventrikel, tidak boleh sebaliknya kecuali pada keadaan patologis.¹²

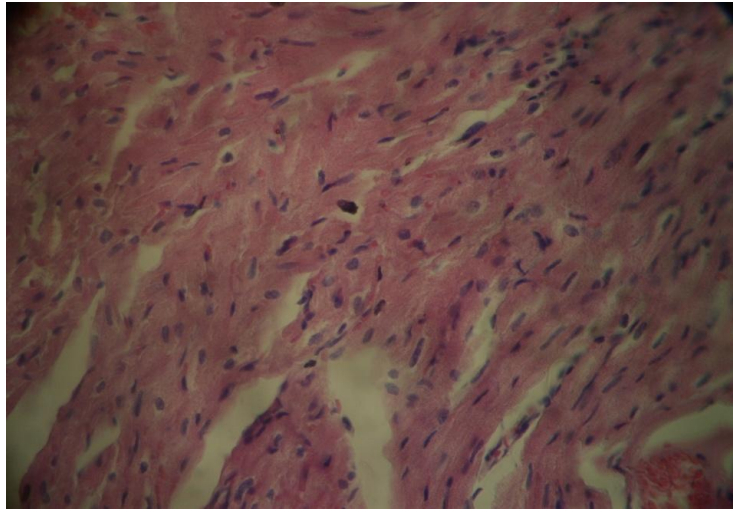
Saat arus listrik dari luar masuk ke dalam tubuh, elektron-elektron dari arus listrik tersebut akan mengalir ke dalam sel-sel tubuh seperti halnya aliran ion-ion dalam ruang intraseluler dan ekstraseluler. Elektron-elektron dari luar inilah yang menyebabkan kekacauan potensial membran sel-sel tubuh termasuk sel-sel otot jantung.³ Kanal ion pada nodus sinoatrial dan nodus atrioventrikel merupakan bagian yang mudah terganggu oleh induksi listrik dari luar.¹⁷ Aliran arus listrik menyeberangi endokardium dan mempengaruhi sissium miokardium, memungkinkan dislokasi nodus pacemaker akibatnya sistem kelistrikan jantung terganggu.¹⁶

Kelistrikan jantung yang terganggu menyebabkan kekacauan kontraksi normal otot jantung dan berakibat terjadinya sinus takikardi, sinus bradikardi, ventricular fibrilasi, dan atrial fibrilasi.¹⁷

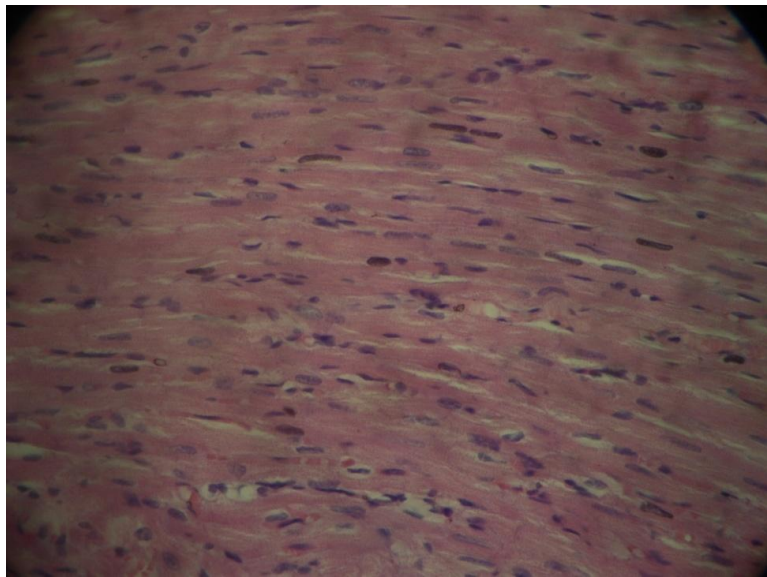
Myofibre break-up (MFB) yang didefinisikan sebagai berkas-berkas otot jantung yang hiperkontraksi diselingi berkas hiperdistensi merupakan manifestasi histologis dari kekacauan kelistrikan jantung.⁸ Gambaran MFB selanjutnya adalah ditemukannya inti sel yang berbentuk persegi pada sel otot yang hiperkontraksi, rupturnya diskus interkalatus, serta pemisahan sarkomer. Pada penelitian ini pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya BX41 dan target pembacaan adalah pada perubahan bentuk inti sel yang hiperkontraksi menjadi berbentuk persegi.



Gambar 2. Gambaran MFB pada otot jantung tikus *Wistar* (Pengecatan HE, Perbesaran 1000x), MFB: inti sel otot jantung yang hiperkontraksi berbentuk persegi (panah putih)
Foto preparat 12 Agustus 2009, Laboratorium Patologi Anatomi FK UNDIP



Gambar 3. Gambaran mikroskopis otot jantung tikus *Wistar* setelah diberi paparan arus listrik secara langsung (Pengecatan HE, Perbesaran 400x)
Foto preparat 12 Agustus 2009, Laboratorium Patologi Anatomi FK UNDIP



Gambar 4. Gambaran mikroskopis otot jantung tikus *Wistar* setelah diberi paparan arus listrik melalui media air (Pengecatan HE, Perbesaran 400x)
Foto preparat 12 Agustus 2009, Laboratorium Patologi Anatomi FK UNDIP

Trauma akibat sengatan listrik dapat terjadi saat sebuah sumber listrik (konduktor) berkontak langsung dengan tubuh ataupun saat arus listrik mengalir dalam air. Air merupakan konduktor listrik. Kemampuan air untuk menghantarkan listrik dipengaruhi oleh konsentrasi ion, mobilitas ion, status oksidasi, dan temperatur air. Peningkatan konsentrasi ion dalam air akan meningkatkan kemampuan air dalam menghantarkan arus. Temperatur air yang meningkat akan menurunkan kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik.⁶ Tahanan tubuh terhadap arus listrik akan turun saat tubuh terendam air, namun air sendiri memiliki karakteristik konduktivitas terhadap listrik yang mengalirinya.

Kedua kelompok perlakuan pada penelitian ini diberikan sumber arus sama yaitu arus bolak-balik dengan kuat arus, tegangan, frekuensi listrik, dan waktu kontak yang sama. Air yang digunakan sebagai media yaitu air akuades juga telah diukur salinitas dan temperturnya agar tetap sama pada tiap eksperimen pada setiap hewan coba. Diketahui bahwa pH air 7,72, konduktivitas air 70 mS, dan salinitas air 0,1 promil. Karena berbagai karakteristik air tersebut, diketahui bahwa tahanan air adalah besar. Arus listrik yang dialirkan dan merusak jaringan pun mengalami penurunan dari kuat arus awal yang diberikan. Didapatkan rata-rata prosentase kerusakan yang terjadi pada kelompok perlakuan paparan listrik melalui media air (P2) lebih rendah daripada kelompok perlakuan paparan listrik secara langsung (P1).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dari kedua kelompok perlakuan didapatkan hasil bahwa kelompok hewan coba yang mengalami kontak langsung dengan konduktor listrik mengalami kerusakan otot jantung yang lebih banyak daripada kelompok perlakuan dengan pengaliran listrik melalui media air. Terdapat perbedaan yang bermakna antara kerusakan otot jantung tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air.

6.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh arus listrik bolak-balik secara langsung terhadap kerusakan otot jantung tikus *Wistar* dengan tegangan dan arus listrik yang lebih besar.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh arus listrik bolak-balik di air terhadap kerusakan otot jantung tikus *Wistar* dengan tegangan dan arus listrik yang lebih besar.
3. Perlu dilakukan penelitian perbandingan mengenai pengaruh paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air terhadap enzim CKMB tikus *Wistar* dengan kuat arus, tegangan listrik, dan waktu yang sama

DAFTAR PUSTAKA

1. Dahlan S. Ilmu Kedokteran Forensik. Semarang: Balai Penerbit Universitas Diponegoro; 2000, p.67-91.
2. DiMaio VJM, DiMaio D. Forensic pathology. 2nd Ed. Florida: CRC Press; 2001, p.31-43.
3. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical injuries: etiology, patophysiology, and mechanism of injury. Maced J Med S [serial online] 2008 Dec 15[cited 2009 Jan 15]; 1(2):54-8. Available from: URL: <http://www.mjms.ukim.edu.mk>
4. Cooper AM, Price TG. Electrical and lightning injuries. Emerg Med Clin North Am [serial online] 2008 Jan 7[cited 2008 Nov 16]; 2(3):489-501. Available from: URL: <http://www.uic.edu/labs/lightninginjury/Electr&Ltn.pdf>
5. Bockholdt B, Schneider V. Death by electrocution in the bathtub. [serial online] 2003 [cited 2008 Nov 1]; Available from: URL: <http://www.medline.ru/public/sudm/a2/art3-2-2.phtml>
6. Light TS, Lieth Stuart, Bevilacqua AC. The fundamental conductivity and resistivity of water. [online] 2004 Mei 29 [cited 2008 Nov 29]; Available from URL: <http://www.ajronline.org/cgi/reprint/97/3/682.pdf>
7. Shepherd R. Simpson's forensic medicine. 12th ed. London: Arnold; 2003, p.111-3.
8. Fineschi V. Cardiac pathology in death from electrocution. Int J Legal Med [serial online] 2006 Mar [cited 2009 Jan 7]; 120(2):79-82. Available from: URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16078070>
9. LE Gray Jr., V Wilson, N Noriega, C Noriega, C Lambright, J Furr, et al. Use the laboratory rat as a model in endocrine disrupt or screening and testing. [online] 2004 [cited 2009 Jan 14]; Available from URL: <http://dels.nas.edu/ilarn/ilarjournal/454/pdfs/v4504gray.pdf>

10. Alan HC. Fisika untuk ilmu-ilmu hayati. Ed 2. Yogyakarta: Gajahmada University Press, 1994, p.637-703.
11. Gabriel JF. Fisika kedokteran. Jakarta: EGC; 1996, p.201-30.
12. Guyton AC, Hall JE. Buku ajar fisiologi kedokteran. Ed 9. Jakarta: EGC; 1997, p.55-201.
13. Eroschenko VP. Atlas histologi di fiore dengan korelasi fungsional. Ed 9. Jakarta: EGC; 2003, p.80-3.
14. Junqueira LC, Carneiro J, Kelly RO. Histologi dasar. Ed 8. Jakarta: EGC; 1997, p.198-204.
15. Susilaningih, Neni. CD praktikum Histologi 1 Bagian Histologi Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro; 2006
16. Knight B, Forensic pathology. 2nd Ed. New York: Arnold; 1996, p.319-21.
17. Spies C, Trohman RG. Electrocution and life threatening electrical injuries. Ann Inter Med. [serial online] 2006 Oct 3 [cited 2009 Jan 16]; 145(7):531-537. Available from: URL: <http://www.annals.org/cgi/content/full/145/7/531?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&fulltext=electrocution+life+threatening+electrical+injuries&searchid=1&FIRSTINDEX=0&resourcetype=HWCIT>
18. Kumar V. Robbin's basic pathology. 8th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2004, p.1-29.
19. Fatteh A. Handbook of forensic pathology. Philadelphia: JB Lippincott Company; 1973, p.177-81.
20. Janssen W. Forensic histopathology. Berlin: Springer-Verlag; 1984, p.261-74.
21. Buono LM, Depace NL, Elbaum DM. Dilated cardiomyopathy after electrical injury: report of two cases. JAOA [serial online] 2003 May [cited 2009 Jan 4]; 103(5):247-9. Available from: URL: <http://www.jaoa.org/cgi/content/abstract/103/5/247>

Lampiran 1

Analisa Statistik

media perlakuan

Case Processing Summary

		Cases					
		Valid		Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
prosentase	secara langsung	5	100,0%	0	,0%	5	100,0%
kerusakan myokard	melalui media air	5	100,0%	0	,0%	5	100,0%

Descriptives

media perlakuan				Statistic	Std. Error
prosentase kerusakan myokard	secara langsung	Mean		32,200	,9960
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	29,435	
			Upper Bound	34,965	
		5% Trimmed Mean		32,278	
		Median		32,400	
		Variance		4,960	
		Std. Deviation		2,2271	
		Minimum		28,6	
		Maximum		34,4	
		Range		5,8	
		Interquartile Range		3,7	
		Skewness		-1,255	,913
		Kurtosis		1,920	2,000
		melalui media air		Mean	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			13,862	
	Upper Bound			22,778	
5% Trimmed Mean				18,433	
Median				19,600	
Variance				12,892	
Std. Deviation				3,5905	
Minimum				12,6	
Maximum				22,0	
Range				9,4	
Interquartile Range				6,0	
Skewness				-1,181	,913
Kurtosis				1,516	2,000

Tests of Normality

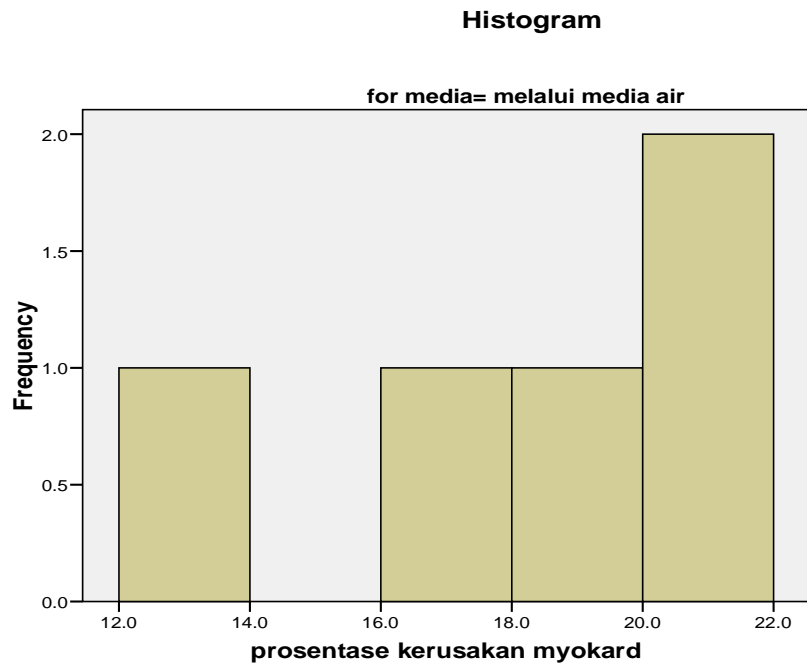
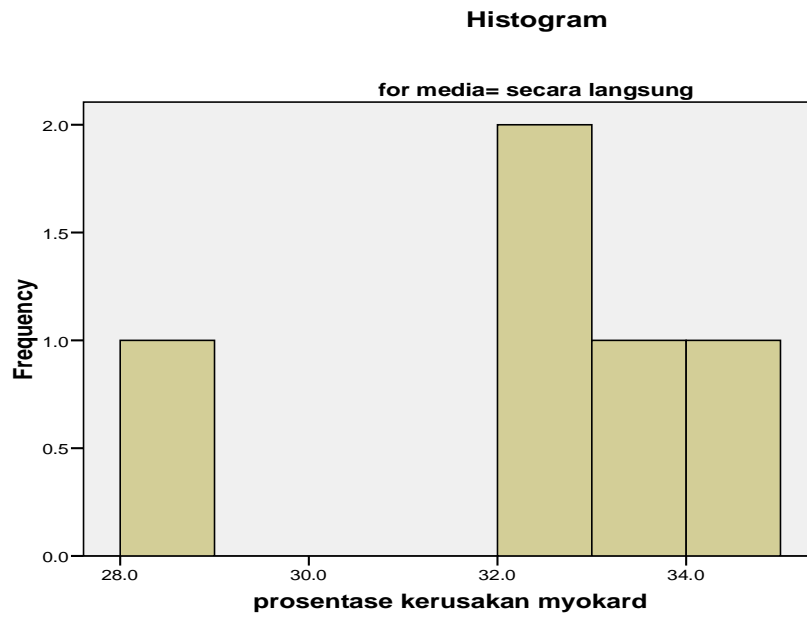
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
prosentase	secara langsung	,264	5	,200*	,907	5	,447
kerusakan myokard	melalui media air	,239	5	,200*	,917	5	,508

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

prosentase kerusakan myokard

Histograms



T-Test

[DataSet0]

Group Statistics

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
prosentase	media perlakuan secara langsung	5	32,200	2,2271	,9960
kerusakan myokard	melalui media air	5	18,320	3,5905	1,6057

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
prosentase	Equal variances assumed	1,050	,336	7,346	8	,000	13,8800	1,8896	9,5227	18,2373
kerusakan myokard	Equal variances not assumed			7,346	6,681	,000	13,8800	1,8896	9,3683	18,3917