



**HUBUNGAN ANTARA LAMA PAPARAN
ARUS LISTRIK BOLAK-BALIK (AC)
DALAM AIR
TERHADAP KERUSAKAN OTOT INTERCOSTALIS
TIKUS *WISTAR***

ARTIKEL KARYA TULIS ILMIAH

Diajukan untuk Memenuhi Tugas dan
Melengkapi Syarat dalam Menempuh
Program Pendidikan Sarjana
Fakultas Kedokteran

DISUSUN OLEH:

FITRI KURNIASUCI

NIM: G2A 004 066

**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2008**

HALAMAN PENGESAHAN

Karya Tulis Ilmiah

HUBUNGAN ANTARA LAMA PAPANAN
ARUS LISTRIK BOLAK-BALIK (AC) DALAM AIR TERHADAP
KERUSAKAN OTOT INTERCOSTALIS TIKUS WISTAR

Disusun oleh:

Nama: Fitri Kurniasuci
NIM: G2A 004 066

Diajukan untuk memenuhi tugas dan melengkapi syarat dalam menempuh
program pendidikan sarjana

Semarang, 12 Agustus 2008

Dosen Pembimbing

Dr. Santosa, Sp. F
NIP: 130 701 410

HALAMAN PENGESAHAN

Karya Tulis Ilmiah

HUBUNGAN ANTARA LAMA PAPARAN
ARUS LISTRIK BOLAK-BALIK (AC) DALAM AIR
TERHADAP KERUSAKAN OTOT INTERCOSTALIS
TIKUS WISTAR

Yang Disusun Oleh:

FITRI KURNIASUCI
NIM: G2A 004 066

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Artikel Karya Tulis Ilmiah
Fakultas Kedokteran UNDIP Semarang pada tanggal 14 Agustus 2008.

TIM PENGUJI PROPOSAL

Penguji

Ketua Penguji

dr. Arif Rahman, Sp. F, Msi. Med, S.H
NIP: 140 370 013

dr. Udadi Sadhana, Sp. P.A
NIP: 131 967 650

Dosen Pembimbing

Dr. Santosa, Sp. F
NIP: 130 701 410

Correlation on Various Alternating Current (AC) Electricity Duration of Exposure in Water to Intercostal Muscles Impairment in Wistar Rats

Fitri Kurniasuci, Santosa***

Background : *Electrical injuries are damages on human bodies that leave burnt marks and caused organs impairment when a person is directly expose to an electrical current. In electrocution, the severity of the injury is determined by intensity, type of current, voltage, electrical resistance, duration of exposure, pathway of current through the body and the circumstances. The bathroom is a common site for the electrical tragedies. The diagnosis done with clinical criteria and the selective laboratory investigation, because there are no specific findings for the electrocution.*

Objective: *To determine the relation of various AC electricity exposure duration in water and the severity of intercostals muscle impairment in wistar rats*

Method: *This was an experimental study using The Post Test Only Control Group Design. 25 Wistar rats samples were divided into 5 groups, which were 5 rats for each group. The P2, P3 and P4 groups were given 220V of voltage and 100mA of current. The K1 group was not given any procedures, as for control/standard; The P1 group was exposed to electricity for 5 seconds; The P2 group was exposed to electricity for 10 seconds; The P3 group was exposed to electricity for 15 seconds; The P4 group was exposed to electricity for 20 seconds.*

Result : *Parametric statistic One Way ANOVA test revealed significant differences for all five groups of hyperemia ($p = 0,000$). The mean value for control group was $4,40 \pm 1,140$. The largest mean value was from P4 group ($52,00 \pm 4,528$). Post Hoc Test revealed significant differences between control group and P1 group ($p=0,000$), control group and P2 group ($p=0,000$), control group and P3 group ($p=0,000$), control group and P4 group ($p=0,000$), P1 group and P3 group ($p=0,000$), P1 group and P4 group ($p=0,000$), P2 group and P3 group ($p=0,021$) and P2 group and P4 group ($p= 0,002$). Insignificant value revealed in P1 group and P2 group ($p=0,106$) and P3 group and P4 group ($p=0,317$).*

Conclusion : *There was a severity of intercostal muscles impairment in relation between groups that were given AC electricity in water and the groups that were not given AC electricity in water, and between each group that were given AC electricity in water with various duration of exposure.*

Key words: *electrical injury, duration of exposure, intercostals muscle*

* *Student of Medical Faculty of Diponegoro University*

** *Lecture staff of Forensic of Medical Faculty of Diponegoro University*

HUBUNGAN LAMA PAPARAN ARUS LISTRIK BOLAK-BALIK (AC) DALAM AIR TERHADAP KERUSAKAN OTOT INTERCOSTALIS TIKUS *WISTAR*

Fitri Kurniasuci*, Santosa**

ABSTRAK

Latar Belakang: Trauma sengatan listrik adalah kerusakan yang disebabkan oleh adanya aliran arus listrik yang melewati tubuh manusia dan membakar jaringan ataupun menyebabkan terganggunya fungsi organ dalam. Pada kejadian sengatan listrik, tingkat kerusakan sel yang ditimbulkan sangat bergantung pada beberapa faktor, antara lain: kuat arus, jenis arus, tegangan, hambatan, lama paparan, jalur yang dilewati oleh listrik dalam tubuh serta lingkungan sekitar.

Tujuan: Mengetahui hubungan antara lama paparan arus listrik bolak-balik di air terhadap derajat kerusakan otot intercostalis tikus wistar.

Metode: Penelitian eksperimental dengan rancangan *The Post Test Only Control Group Design*. Sampel 25 tikus wistar dibagi dalam 5 kelompok. Tiap kelompok berisi 5 ekor tikus. Pada kelompok P2, P3, P4 diberi tegangan listrik 220 volt dengan kuat arus 100mA. Kelompok K1: tidak diberi perlakuan dan berlaku sebagai kontrol; Kelompok P1: diberi lama paparan arus listrik selama 5 detik; Kelompok P2: diberi lama paparan arus selama 10 detik; Kelompok P3: diberi lama paparan arus selama 15 detik; Kelompok P4: diberi lama paparan arus selama 20 detik.

Hasil: Dari hasil uji *One Way ANOVA* didapatkan hiperemia dari kelima kelompok terdapat perbedaan yang bermakna ($p=0,000$). Rerata hiperemia kelompok kontrol, yaitu $4,40 \pm 1,140$. Sedangkan rerata hiperemia yang paling besar adalah P4, yaitu $52,00 \pm 4,528$. Selanjutnya pada uji Post Hoc, didapatkan perbedaan rerata hiperemia yang bermakna antara kelompok kontrol dibanding perlakuan 1 ($p=0,000$), kontrol dengan perlakuan 2 ($p=0,000$), kontrol dengan perlakuan 3 ($p=0,000$), kontrol dengan perlakuan 4 ($p=0,000$), perlakuan 1 dengan perlakuan 3 ($p=0,000$), perlakuan 1 dengan perlakuan 4 ($p=0,000$), perlakuan 2 dibanding perlakuan 3 ($p=0,021$). Didapatkan hasil yang tidak berbeda bermakna pada perlakuan 1 dan perlakuan 2 ($p=0,106$) dan perlakuan 3 dengan perlakuan 4 ($p=0,317$).

Kesimpulan: Terdapat hubungan derajat kerusakan otot intercostalis Tikus Wistar antara kelompok yang diberikan arus listrik bolak balik dalam air dengan kelompok kontrol, dan antara setiap kelompok yang diberikan arus listrik bolak-balik dalam air dengan waktu yang bertingkat.

Kata Kunci: Trauma sengatan listrik, lama paparan, otot intercostalis

* Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

** Staf Pengajar Bagian Forensik Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Trauma sengatan listrik adalah kerusakan yang disebabkan oleh adanya aliran arus listrik yang melewati tubuh manusia dan membakar jaringan ataupun menyebabkan terganggunya fungsi organ dalam. Arus listrik yang mengalir ke dalam tubuh manusia akan menghasilkan panas yang dapat membakar dan menghancurkan jaringan tubuh. Tanda dan gejalanya meliputi luka bakar pada kulit, kerusakan organ dalam dan jaringan lainnya, aritmia, serta gagal nafas¹.

Arus listrik terbagi menjadi arus searah (DC) dan arus bolak balik (AC). Listrik DC mengalir ke satu arah secara konstan, sedangkan listrik AC arah arusnya berubah secara periodik. Listrik AC lebih berbahaya dibandingkan dengan listrik DC. Listrik DC cenderung menyebabkan kontraksi otot tunggal, sehingga apabila seseorang terkena paparan listrik DC cenderung lebih mudah untuk melepaskan diri dari sumber listrik. Sedangkan listrik AC (meskipun dalam jumlah kecil) menyebabkan kontraksi otot yang berkelanjutan yang menyebabkan seseorang tidak dapat melepaskan diri dari sumber listrik. Listrik AC juga menyebabkan kontraksi pada otot pernapasan sehingga membuat korban sulit bernapas dan aritmia cordis yang dapat menyebabkan kematian.^{2,3,4}

Pada kejadian sengatan listrik, tingkat kerusakan sel yang ditimbulkan sangat bergantung pada beberapa faktor, antara lain: kuat arus, tegangan, hambatan dan lama paparan. Selain itu, jalur yang dilewati oleh listrik dalam tubuh serta lingkungan sekitar yang lembab dan basah, seperti kamar mandi lebih mudah untuk terjadi sengatan listrik.^{2,5,6}

Arus listrik AC lebih berbahaya dibandingkan arus DC. Arus AC 50-80 mA dapat menjadi fatal dalam beberapa detik, sedangkan arus DC 250 mA dengan waktu yang sama biasanya dapat bertahan. Arus AC 100 mA hanya dalam waktu 1/5 detik dapat mengakibatkan fibrilasi ventrikel dan henti jantung.²

Voltase di atas 500 Volt disebut tegangan tinggi.⁴ Listrik tegangan tinggi menyebabkan kerusakan internal yang lebih serius jika dibandingkan dengan tegangan rendah. Listrik tegangan tinggi dapat menyebabkan luka bakar internal masif.³

Besarnya tahanan pada tubuh manusia tergantung dari banyak sedikitnya air dalam tubuh. Tahanan paling besar adalah kulit, lemak, saraf otot, dan darah. Tahanan paling rendah adalah cairan tubuh. Jika tahanannya tinggi (misalnya pada kulit), kerusakan yang terjadi biasanya bersifat lokal (luka bakar pada kulit). Kerusakan internal biasanya terjadi pada seseorang yang kontak dengan listrik dalam keadaan basah.³ Lamanya paparan arus listrik berpengaruh terhadap banyaknya jaringan yang rusak.⁴

Arus listrik yang mengalir dari lengan ke lengan atau dari lengan ke tungkai lebih berbahaya dibandingkan listrik yang mengalir diantara kaki

dan tanah, karena dapat mempengaruhi jantung. Sedangkan listrik yang mengalir di kepala dapat mempengaruhi otak. Tiap jaringan memiliki tingkat kepekaan yang berbeda terhadap listrik, misalnya: saraf, pembuluh darah dan otot cenderung lebih mudah mengalami kerusakan dibandingkan dengan tulang dan tendo.³

Lingkungan sekitar yang basah (misal: kamar mandi) merupakan konduktor yang baik yang berakibat arus yang dapat melewati tubuh lebih besar.⁶

Kejadian akibat sengatan listrik di kamar mandi banyak ditemukan baik berupa kecelakaan, pembunuhan, ataupun bunuh diri.⁵ Tidak ditemukan tanda-tanda yang khas pada kasus-kasus sengatan listrik di kamar mandi. Tanda khas luka bakar (*electric mark*) juga sering kali tidak ditemukan pada kasus-kasus tersebut. Di Eropa disebutkan bahwa frekuensi ditemukannya tanda luka bakar (*electrical mark*) pada kulit antara lain 60% (Schneider), 43% (Pschel et al.), 17% (Bonte et al.) or 55% (Gilg).⁷

Dalam literatur forensik Holzer pertama mendeskripsikan sebuah fenomena, terlihat pada kulit mayat yang ditemukan dalam bathtub yang berisi air. Indikatornya adalah garis yang sejajar dengan permukaan air, pucat dan tidak berbeda bentuk dengan perubahan postmortem. Penemuan yang sama juga dipublikasikan oleh Bonte (10 kasus), Schwerd (1 kasus), Pschel et al. (1 kasus), Weiler dan Risse (1 kasus), Kallieris et al. (5 kasus), Scheider tidak menemukan fenomena tersebut pada investigasi

komprehensifnya.⁷ Sedangkan di Indonesia sendiri belum dilakukan studi lebih lanjut.

Banyak dari kasus kematian akibat sengatan listrik (khususnya di kamar mandi) tidak diketahui. Diagnosis dilakukan dengan kriteria klinik dan pemeriksaan laboratorium yang selektif, karena ciri-ciri fisik korban kadang-kadang tidak memberikan gambaran yang spesifik untuk sengatan listrik.⁴

Kematian oleh arus listrik disebabkan karena aritmia cordis terutama fibrilasi ventrikel. Ini dikarenakan arus yang melewati miokardium terutama pada lapisan epicardial superficial dan melewati endocardium. Arus listrik mempunyai efek terhadap sinusium otot jantung dan menyebabkan gangguan pacemaker dan konduksi jantung. Selain itu, kematian akibat sengatan listrik juga disebabkan oleh berhentinya fungsi sistem pernapasan. Hal ini disebabkan oleh aliran listrik tersebut akan menyebabkan inhibisi pusat pernapasan pada susunan saraf pusat, paralisis berkepanjangan serta kontraksi tetani dari otot-otot pernapasan.^{2,5,8,9,10,11}

Berangkat dari fakta-fakta tersebut diatas, maka penulis akan mengadakan penelitian eksperimental untuk membuktikan bahwa sengatan listrik ini akan memberikan dampak pada otot pernapasan terutama ditinjau dari gambaran histopatologinya. Oleh karena secara etik tidak mungkin melakukan percobaan eksperimental pada manusia maka akan digunakan tikus wistar sebagai hewan percobaan

1.2. Rumusan Masalah

Apakah ada hubungan antara lama paparan listrik AC dengan kerusakan otot intercostalis tikus wistar?

1.3. Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan umum

Penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah ada hubungan antara lama paparan listrik AC dengan kerusakan otot intercostalis tikus wistar.

1.3.2. Tujuan khusus

Mendeskripsikan kerusakan otot intercostalis pada kelompok perlakuan tikus wistar dengan lama paparan listrik AC yang berbeda-beda.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

- a. Memberikan informasi bagi peneliti lain mengenai hubungan lama paparan listrik AC terhadap kerusakan otot intercostalis.
- b. Melengkapi penelitian mengenai pengaruh lama paparan listrik AC terhadap kerusakan otot intercostalis.
- c. Sebagai tambahan informasi untuk penelitian–penelitian selanjutnya sehubungan dengan pengaruh lama paparan listrik AC terhadap kerusakan otot intercostalis.

Bab II

Tinjauan Pustaka

2.1. Biolistrik

Listrik adalah kondisi dari partikel subatomik tertentu, seperti elektron dan proton, yang menyebabkan penarikan dan penolakan gaya diantaranya. Dapat juga diartikan sebagai sumber energi yang disalurkan melalui kabel, arus listrik timbul oleh karena muatan listrik mengalir dari saluran positif ke saluran negatif.¹

2.1.1. Hukum dalam biolistrik

Ada 2 aspek kelistrikan dan kemagnetan yang penting dalam bidang kedokteran yaitu listrik dan magnet yang ada dalam tubuh dan magnet dan listrik yang digunakan pada permukaan tubuh.² Ada beberapa rumus yang berkaitan yaitu:

1. Hukum **OHM**: *"perbedaan potensial antara ujung konduktor berbanding langsung dengan arus yang melewati dan berbanding terbalik dengan tahanan konduktor"*

$$V = I.R$$

R: tahanan (Ω)

I: kuat arus (A)

V: tegangan (Volt)

2. Hukum **Joule**: *" arus listrik yang melewati konduktor dengan perbedaan tegangan dalam waktu tertentu akan menimbulkan panas "*

$$E = V.I.t$$

E: energi (Joule)

I : kuat arus (A)

V: tegangan (Volt)

t : waktu (detik)

2.1.2. Potensial listrik tubuh

Pada sel tubuh terdapat potensial listrik yang melintasi membran. Pada sel saraf dan otot dapat dirangsang. Pada ekstrasel mengandung lebih banyak ion Na^+ dan sedikit ion K^+ . Pada intraseluler sebaliknya yaitu banyak ion K^+ dan sedikit ion Na^+ .¹²

Jika suatu membran memiliki permeabilitas terhadap ion K^+ tetapi tidak dengan ion yang lain maka ion K^+ berdifusi dari intrasel ke ekstrasel yang berakibat terbentuknya keadaan elektropositif di luar membran dan elektronegatif di luar membran. Peningkatan potensial membran yang cukup tinggi menyebabkan difusi ion K^+ kedalam dihambat.¹²

Konsentrasi Na^+ yang tinggi di ekstrasel dan rendah di intrasel menyebabkan membran permeabel terhadap ion Na^+ tidak pada ion yang lain. Difusi ion Na^+ ke intasel menyebabkan keadaan elektronegatif di luar membran dan elektropositif di dalam membran. Peningkatan potensial membran yang cukup tinggi menyebabkan difusi ion Na^+ kedalam dihambat.¹²

Potensial membran terjadi jika adanya perbedaan konsentrasi ion yang melintasi membran permeabel secara selektif. Perubahan potensial membran selama perjalanan transmisi impuls saraf maupun otot dikarenakan perubahan potensial difusi yang cepat. Pada keadaan istirahat permeabilitas membran terhadap ion Na^+ lebih rendah daripada permeabilitas ion K^+ , oleh karena itu ion

K^+ yang berdifusi keluar lebih banyak dari pada ion Na^+ yang berdifusi ke dalam sel, sehingga ekstrasel elektropositif dan intrasel elektonegatif.¹²

Pada saraf atau otot saat istirahat ekstrasel elektropositif dan intrasel elektonegatif. Jika sel ini menerima rangsangan baik listrik, kimia ataupun mekanik, menyebabkan permeabilitas sel terhadap ion Na^+ meningkat dan permeabilitas terhadap ion K^+ berkurang sehingga Na^+ masuk ke dalam intasel lebih banyak daripada difusi keluar ion K^+ . Jika rangsangan ini cukup kuat maka difusi Na^+ ke intrasel akan semakin cepat dan banyak. Sehingga ekstrasel elektronegatif dan intasel elektropositif. Hal inilah yang disebut depolarisasi.¹²

Depolarisasi yang tiba-tiba sebabkan potensial aksi. Jika potensial aksi sudah mencapai puncak maka akan ada suatu mekanisme pengangkutan dalam sel membran yang dengan cepat akan mengembalikan ion Na^+ keluar sehingga terjadi potensial istirahat. Hal ini yang disebut repolarisasi.¹²

Setelah timbul potensial aksi, sel membran akan mengalami repolarisasi. Repolarisasi sel membran disebut Tingkat Refrakter yang terdiri dari 2 fase yaitu Periode Refrakter Absolut dan Periode Refrakter Relatif.¹²

Periode Refrakter Absolut : Selama periode ini tidak ada rangsangan, tidak ada unsur kekuatan untuk menghasilkan potensial aksi yang lain. Periode Refrakter Relatif : Setelah sel membran mendekati repolarisasi seluruhnya maka dari periode refrakter absolut akan menjadi periode refrakter relatif; dan apabila ada stimulus yang kuat secara normal akan menghasilkan potensial aksi yang baru. Sel membran setelah mencapai potensial membran istirahat, sel membran tersebut telah siap untuk menghantarkan impuls yang lain.¹²

2.2. Otot Intercostalis

2.2.1. Anatomi

mm. intercostalis berperan penting untuk menggerakkan rangka dada. Otot-otot tersebut terbagi atas m. Intercostalis externus, m. Intercostalis internus, mm. Subcostales dan mm. Transversus thoracis.^{13,14}

M. Intercostalis externus membentuk lapisan paling luar, terbentang dari tuberculum costae menuju permulaan rawan iga dan berlanjut pada tiap-tiap *spatium intercostalis* ke dalam membrana intercostalis externus pada tempat tulang iga bersatu dengan rawan iga. Otot-otot ini kadang-kadang berasal dari pinggir bawah satu iga dan kadang-kadang melekat pada bagian pinggir atas iga. *M. Intercostalis externus* berjalan dari superoposterior menuju infero anterior, kemudian diganti oleh aponeurosis, *membrana intercostalis anterior (externa)*. *M. Intercostalis externus* bersifat aktif hanya pada saat inspirasi selama inspirasi kuat dan pernapasan biasa tergantung pada mm. Scaleni.^{13,14}

M. Intercostalis internus membentuk lapisan intermedial. Berjalan dari *angulus costae* menuju *sternum* dalam *spatium intercostalis*. Dimulai dari pinggir atas bagian permukaan dalam iga dan berinsertio di dalam sulcus costae. Dari *angulus costae* medial terhadap *vertebrae*, m. Intercostalis internus digantikan oleh aponeurosis yang disebut *membrana intercostalis posterior (interna)*. *M. Intercostalis internus* aktif hanya bila iga-iga turun ke bawah.^{13,14}

M. Transversus thoracis membentuk lapisan terdalam. Otot ini merupakan lapisan otot yang tidak lengkap dan menyilang lebih dari satu *spatium intercostalis* yang terdapat di antara *costae-costae*. Berasal dari permukaan dalam

processus xiphoideus dan corpus sterni. Serabut-serabutnya berjalan ke arah laterokranial dan melekat pada batas bawah rawan iga ke-2 sampai ke-5. m. transversus thoracis ini berperan pada saat ekspirasi.^{13,14}

Bila mm. Intercostales berkontraksi, cenderung mendekatkan costa satu sama lain. Bila costa I difiksasi oleh kontraksi otot-otot yang terdapat pada pangkal leher, yaitu: mm. Scaleni, mm. Intercostales akan mengangkat costa I sampai XII ke arah costa I. Sebaliknya bila costa I difiksasi oleh m. quadratus lumborum dan otot-otot oblique abdomen, costa I sampai XII akan ditarik ke bawah oleh kontraksi mm. Intercostales. Selain itu tonus mm. Intercostales selama fase-fase pernapasan berperan memperkuat jaringan spatium intercostalis, sehingga mencegah pengisapan ke dalam dan pendorongan ke luar jaringan akibat perubahan tekanan intratorakal.¹⁴

2.2.2. Histologi

Mm. Intercostalis merupakan otot rangka (skelet), otot rangka bersifat volunter karena kontraksi dan relaksasinya dikendalikan oleh kesadaran. Di dalam sitoplasma otot rangka, susunan filamen aktin dan miosin sangat teratur. Akibatnya, filamen kontraktil ini membentuk gurat-gurat melintang jelas yang di bawah mikroskop tampak sebagai pita I yang terang dan pita A yang gelap, melintang terhadap serat ototnya. Karena gurat-gurat melintang inilah, maka otot rangka disebut juga otot bergurat melintang/lurik.¹⁵

Otot rangka adalah serat-serat multinuklear panjang dengan inti-inti tersebar di perifer. Otot-otot rangka dikelilingi jaringan ikat. Keseluruhan otot

rangka dibungkus lapis jaringan ikat padat tak teratur yang disebut epimisium. Jaringan ikat kurang padat tak teratur disebut perimisium, mengelilingi berkas serat otot rangka atau fasikulus; perimisium adalah perluasan epimisium ke dalam. Selapis tipis serat-serat jaringan ikat disebut endomisium, membungkus setiap serat otot. Di dalam jaringan ikat, terdapat pembuluh darah, saraf, dan pembuluh lymph. ¹⁵

Otot rangka dipersarafi secara luas oleh saraf motoris besar atau akson. Di dekat otot rangka, saraf motoris ini bercabang-cabang dan sebuah akson halus mensarafi satu serat otot. Karena persarafan langsung ini, maka setiap serat otot rangka hanya berkontraksi bila dirangsang oleh saraf itu. ¹⁵

2.2.3. Fisiologi

Mm. Intercostales yang merupakan otot rangka (skelet). Timbul dan berakhirnya kontraksi otot terjadi dalam urutan tahap-tahap sebagai berikut:

Suatu potensial aksi berjalan di sepanjang sebuah saraf motorik sampai ke ujungnya pada serat otot. Pada setiap ujung, saraf mensekresi substansi neurotransmiter, yaitu asetilkolin dalam jumlah sedikit. Asetilkolin bekerja pada area setempat. Terbukanya saluran asetilkolin memungkinkan sejumlah besar ion natrium untuk mengalir ke bagian dalam membran serat otot pada titik terminal saraf. Peristiwa ini akan menimbulkan suatu potensial aksi dalam serat otot. ¹²

Potensial aksi akan berjalan di sepanjang membran serat otot dalam cara yang sama seperti potensial aksi berjalan di sepanjang membran saraf. Potensial aksi akan menimbulkan depolarisasi membran serat otot dan juga berjalan secara dalam di dalam serat otot pada tempat dimana potensial aksi menyebabkan retikulum sarkoplasma melepaskan sejumlah besar ion kalsium yang telah disimpan di dalam retikulum, ke dalam miofibril.¹²

Ion-ion kalsium menimbulkan kekuatan menarik antara filamen aktin dan miosin, yang menyebabkannya bergerak bersama-sama dan menghasilkan proses kontraksi. Setelah kurang dari satu detik, ion kalsium dipompa ke dalam retikulum sarkoplasma, tempat ion-ion ini disimpan sampai potensial aksi otot yang baru datang lagi; pengeluaran ion kalsium dari myofibril akan menyebabkan kontraksi otot terhenti.¹²

2.3. Listrik

Elektron, yang merupakan lapisan terluar dari sebuah atom mengandung muatan negatif. Jika elektron-elektron berkumpul pada sebuah benda, maka benda tersebut juga akan bermuatan negatif. Aliran elektron melewati perbedaan potensial dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah inilah yang disebut listrik.¹⁰

2.3.1 Trauma Sengatan Listrik

Trauma akibat sengatan listrik dapat terjadi karena kontak dengan alat-alat listrik yang tidak terpasang dengan benar, mesin-mesin listrik, atau kabel alat-alat rumah tangga. Listrik memiliki tenaga potensial dan mengalir melewati media konduktor kemudian menghilang atau diteruskan ke dalam tanah. Tubuh manusia

merupakan konduktor listrik yang baik dan jika terletak pada jalur listrik maka kerusakan yang serius atau bahkan kematian mungkin terjadi, akibat dari paralisis jantung atau pusat medula. Dengan kata lain, energi listrik dirubah menjadi panas yang dengan kuantitas yang tepat akan mengakibatkan luka bakar yang biasanya terdapat di kulit, dimana listrik masuk dan keluar dari tubuh.^{3,16}

Kematian oleh trauma sengatan listrik kebanyakan disebabkan oleh aritmia jantung, biasanya oleh fibrilasi ventrikel dan berakhir pada henti jantung. Selain itu, kematian juga dapat disebabkan oleh henti napas, dimana aliran listrik melewati dada dan menyebabkan spasme atau paralisa pada otot-otot intercostalis dan diafragma yang mengakibatkan inhibisi pada pergerakan respirasi. Kerusakan pada batang otak jarang terjadi, kecuali aliran listrik masuk melalui kepala.²

2.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kerusakan

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kerusakan pada trauma akibat sengatan listrik antara lain:^{2,3,4,5,10,16}

- Jenis Arus

Listrik arus bolak-balik (AC) lebih berbahaya dibandingkan dengan listrik arus searah (DC). Arus listrik AC 50-80 mA dapat berakibat fatal dalam beberapa detik, sedangkan listrik DC dengan arus 250 masih dapat bertahan. Listrik DC cenderung mengakibatkan spasme otot tunggal, sering melempar korban dari sumber listrik., mengakibatkan paparan singkat terhadap listrik. Sedangkan listrik AC 3-6 kali lebih berbahaya dibandingkan listrik DC,

karena kontraksi otot yang terus menerus (tetani) terjadi ketika serabut otot distimulasi antara 40-110 kali per detik.

- **Kuat Arus**

Derajat kerusakan jaringan setara dengan jumlah aliran listrik yang melewatinya. Arus sebesar 50-80 mA yang melewati jantung selama beberapa detik dapat mengakibatkan kematian akibat gagal jantung akut. Arus yang masih dapat ditolerir oleh manusia adalah 30 mA pada tangan, yang mana mengakibatkan rasa nyeri dan kontraksi otot. Kehilangan kesadaran dapat terjadi pada pemberian arus sebesar 40 mA. Sedangkan fibrilasi ventrikel diperkirakan terjadi pada kuat arus 50-120 mA.

- **Tegangan**

Tegangan merupakan perbedaan potensial diantara dua titik. Tegangan listrik dapat dibagi menjadi listrik tegangan rendah dan tinggi (dengan batas 500 atau 1000 Volt). Walaupun keduanya dapat mengakibatkan morbiditas dan mortalitas yang signifikan, listrik tegangan tinggi memiliki potensi yang lebih besar untuk terjadinya kerusakan jaringan dan dapat mengakibatkan luka yang serius.

- **Tahanan**

Tahanan merupakan kecenderungan dari sebuah materi untuk menahan aliran listrik. Besarnya tahanan pada tubuh manusia tergantung dari banyak sedikitnya air dalam tubuh. Tahanan paling besar adalah kulit, lemak, saraf otot, dan darah. Tahanan paling rendah adalah cairan tubuh. Jika tahanannya tinggi (misalnya pada kulit), kerusakan yang terjadi

biasanya bersifat lokal (luka bakar pada kulit). Tahanan rata-rata sebesar 500 sampai 10.000 ohm untuk daerah selain telapak tangan dan kaki yang mana dapat menjadi 1 juta ohm dalam kondisi kering dan 1.200 ohm dalam keadaan basah.

- Jalur

Jalur yang dilewati oleh listrik dalam tubuh menentukan besarnya resiko pada jaringan, jenis kerusakan yang terlihat, dan derajat konversi dari energi listrik menjadi panas. Listrik yang melewati jantung atau thoraks dapat menyebabkan aritmia jantung dan kerusakan langsung pada myocardium. Listrik yang mengalir melewati otak dapat mengakibatkan kejang dan henti napas, kerusakan otak langsung dan paralisis. Listrik yang melewati mata dapat menyebabkan katarak.

- Durasi

Nilai ambang fibrilasi semakin meningkat bila waktu semakin kecil. Lamanya seseorang kontak dengan benda yang beraliran listrik menentukan kecepatan datangnya kematian. Semakin tinggi arus listrik maka waktu kematian pun semakin cepat. Semakin lama terkena listrik semakin banyak jaringan yang mengalami kerusakan.

Umumnya durasi kontak dengan listrik tegangan tinggi yang lama mengakibatkan derajat kerusakan jaringan yang lebih parah. walaupun terdapat tegangan dan kuat arus yang sangat tinggi, dengan durasi paparan yang sangat singkat dan hambatan kulit maka kerusakan pada jaringanpun semakin sedikit.

- **Lingkungan Sekitar**

Lingkungan sekitar yang basah mengakibatkan tahanan tubuh menjadi rendah. Kerusakan terjadi pada organ internal jika seseorang yang dalam keadaan basah kontak dengan arus listrik

2.4. **Jejas Sel**

Reaksi sel terhadap jejas dapat berbeda berdasarkan berat ringannya jejas, intensitas ataupun periodenya. Suatu sel yang terkena jejas dapat beradaptasi, jika ada perubahan pada lingkungannya sel akan beradaptasi mengikuti perubahan yang terjadi. Adaptasi yang dilakukan oleh sel antara lain hipertrofi, hiperplasi, metaplasia, displasia dan atrofi.^{17,18}

Kerusakan sel karena jejas dapat bersifat reversibel maupun irreversibel. Jejas reversibel berarti sel itu dapat kembali normal atau beradaptasi. Jejas reversibel dapat menjadi jejas irreversibel jika terjadi peningkatan periode dan intensitas. Pada jejas irreversibel sel tidak dapat kembali normal dan mengalami kematian sel (nekrosis).^{17,18,19}

Kerusakan sel membran merupakan peristiwa penting dari cedera sel. Kerusakan ini melalui beberapa mekanisme antara lain: hambatan spesifik dari saluran ion, kegagalan pemompaan ion membran, perubahan lipid membran dan ikatan silang protein membran.¹⁸

Nekrosis dapat diartikan sebagai perubahan morfologi sebagai akibat dari tindakan degenerasi progresif oleh enzim-enzim pada sel yang terjejas letal. Terdapat dua proses penting yang menunjukkan perubahan nekrosis yaitu pencernaan sel oleh enzim dan denaturasi protein.¹⁹

Jaringan di tubuh memiliki sensitivitas yang berbeda-beda terhadap arus listrik. Sel-sel yang menggunakan sinyal bioelektrik dalam menjalankan aktivitasnya seperti neuron, sel otot rangka, dan otot jantung merupakan sel yang paling rentan dibandingkan dengan tulang dan otot karena dapat dirangsang dengan arus listrik. Arus listrik yang melewati kaki atau tangan lebih menyebabkan kerusakan organ dalam dibandingkan apabila melewati badan.¹⁷

Tidak seperti trauma panas yang mengakibatkan kerusakan jaringan terjadi akibat denaturasi dan koagulasi protein, kerusakan sel akibat sengatan listrik dapat disebabkan oleh beberapa macam mekanisme:

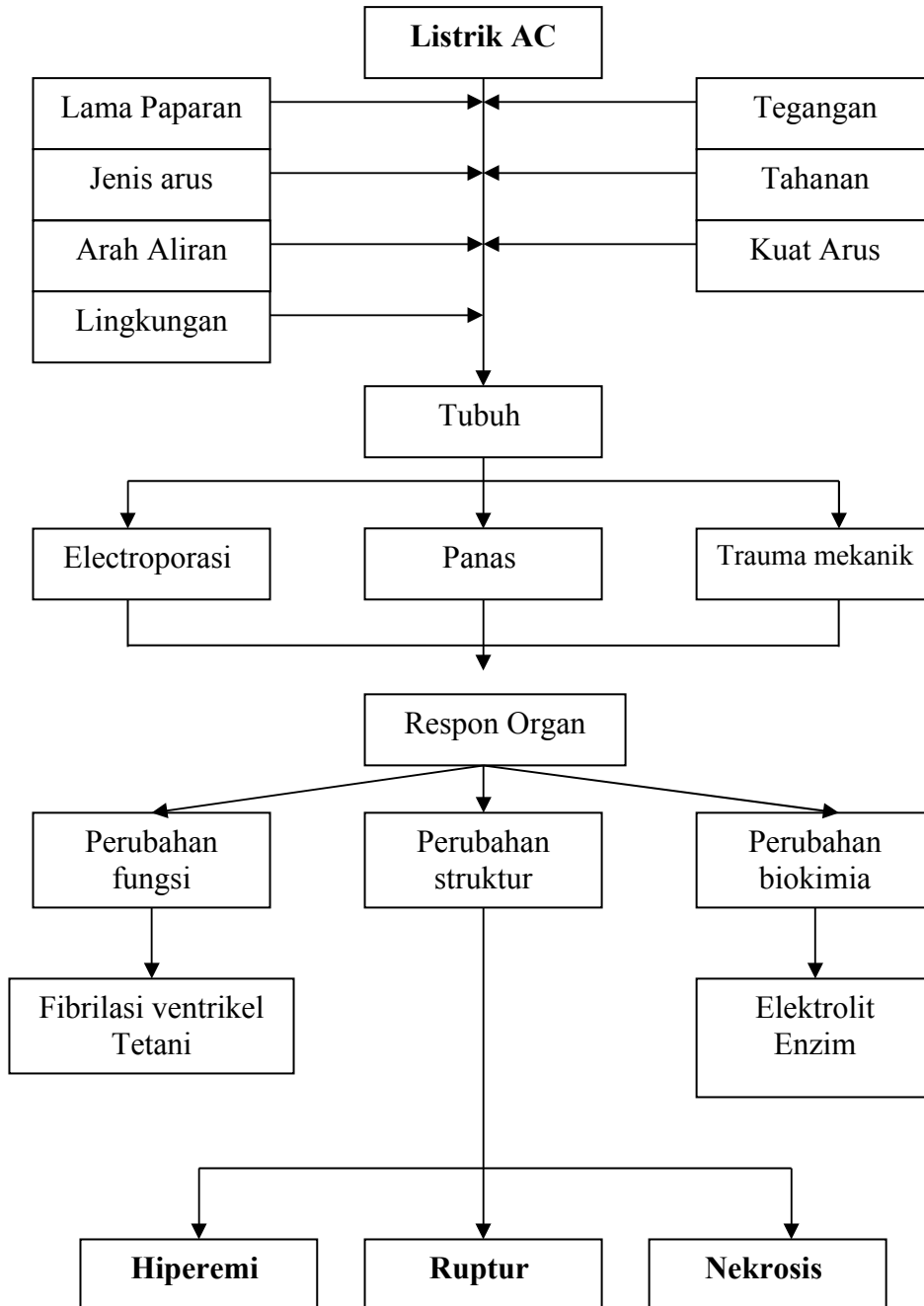
1. Energi listrik menyebabkan kerusakan langsung pada jaringan tubuh sehingga menyebabkan asistol, fibrilasi ventrikel, atau apneu.
2. Energi listrik mempengaruhi potensial membran istirahat. Hal ini disebabkan karena terbentuknya lubang-lubang pada membran sel yang dikenal sebagai proses elektroporasi. Bentuk ini terjadi apabila terdapat paparan dari medan elektrik yang tinggi (didefinisikan sebagai volt/meter). Melalui proses elektroporasi ini, dapat terjadi kematian sel tanpa adanya pemanasan sel yang signifikan, sebagai akibat terganggunya keadaan elektrolit sel.
3. Energi listrik bervoltase rendah juga dapat menyebabkan terjadinya tetani pada otot. Tetani ini lebih banyak terjadi pada arus listrik bolak-balik dengan frekuensi rendah antara 15-150 Hz. Dengan frekuensi ini, otot distimulasi untuk berkontraksi sebanyak 40-110 kali perdetik. Hal inilah yang dapat

menyebabkan pegangan tangan pada sumber listrik seringkali tidak dapat dilepas.^{5,18,19}

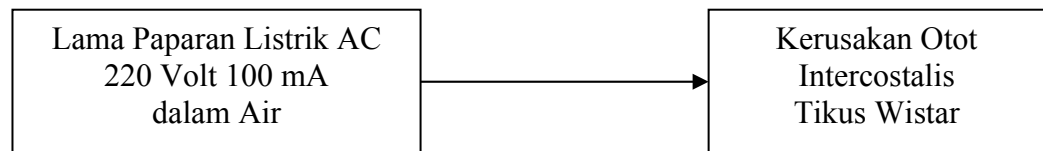
4. Perubahan dari energi listrik menjadi energi panas yang menyebabkan terjadinya kerusakan jaringan yang berat dan nekrosis koagulasi.¹⁹ Kerusakan tipe ini banyak terjadi pada paparan arus dengan voltase tinggi dan hampir tidak terjadi pada voltase rendah.²⁰ Jenis lesi yang paling parah terjadi pada kasus dimana objek merupakan bagian dari lengkung elektrik (*electric arc*). Lengkung elektrik adalah suatu percikan arus listrik yang timbul diantara dua permukaan objek yang tidak bersentuhan memiliki beda potensial yang sangat besar, biasanya pada sumber arus tegangan tinggi dengan *ground*. Karena besarnya perbedaan potensial ini, dapat timbul panas sampai temperatur 2500°C. Panas ini dapat menimbulkan luka bakar yang sangat pada titik kontak dengan kulit.²¹

5. Trauma mekanik langsung sebagai hasil dari jatuh atau kontraksi otot yang hebat.¹⁹ Kedua hal ini dapat menyebabkan terjadinya fraktur dan dislokasi sendi. Seperti yang telah disebutkan diatas, arus bolak-balik lebih menyebabkan kerusakan dibandingkan dengan arus searah karena dapat menyebabkan kontraksi otot yang berulang.

2.5. Kerangka Teori



2.6. Kerangka Konsep



2.7. Hipotesis

Terdapat hubungan antara lama paparan arus listrik AC terhadap kerusakan otot intercostalis tikus wistar.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup keilmuan penelitian ini meliputi bidang Forensik dan Patologi Anatomi.

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dan pengumpulan data dilakukan selama 2 minggu. Penelitian dilakukan di Laboratorium Patologi Anatomi Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro dan Laboratorium Biologi Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang.

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik dengan menggunakan rancangan randomized *post test only control group design*. Menggunakan tikus wistar sebagai hewan percobaan dalam 5 kelompok, yaitu empat kelompok eksperimental dan satu kelompok kontrol dengan randomisasi sederhana. Keluaran (outcome) yang dinilai adalah gambaran histologis kerusakan otot intercostalis.

3.4. Populasi dan Sampel Penelitian

3.4.1. Populasi

- a. Populasi Target

Tikus wistar

b. Populasi Terjangkau

Tikus wistar, umur 3 bulan, berat badan 160-200 gram, sehat, tidak ada kelainan anatomis.

3.4.2. Sampel

3.4.2.1 Kriteria Sampel

Sampel penelitian diambil secara random dari populasi terjangkau dengan kriteria inklusi dan kriteria eksklusi sebagai berikut :

1. Kriteria inklusi :

- tikus wistar
- berat badan 160-200 gram
- umur 3 bulan
- sehat

2. Kriteria eksklusi :

- tikus tampak sakit (gerakan tidak aktif)
- terdapat kelainan anatomis

3. *Drop out:*

- Bila tikus mati selama perlakuan

3.4.2.2 Besar Sampel

Besar sampel tiap kelompok perlakuan adalah 5 (WHO). Ada lima kelompok percobaan dalam penelitian ini. Sehingga, jumlah tikus yang menjadi sampel ada 25 ekor.

3.4.2.3. Cara Pengambilan Sampel

Untuk menghindari bias karena faktor variasi umur dan berat badan maka pengambilan sampel dilakukan secara acak (simpl randomisasi). Randomisasi langsung dapat dilakukan karena sampel diambil dari tikus wistar yang sudah memenuhi kriteria inklusi sehingga dianggap cukup homogen.

Ada lima kelompok percobaan dalam penelitian ini. Masing-masing terdiri dari lima tikus. Sehingga jumlah tikus yang menjadi sampel ada dua puluh lima ekor. Kesemuanya diambil dari secara acak dari kelompok tikus yang sudah diadaptasi pakan selama 1 minggu.

3.5. Variabel Penelitian

3.5.1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama paparan arus listrik bolak-balik.

3.5.2. Variabel Tergantung

Variabel tergantung dalam penelitian ini adalah gambaran kerusakan otot intercostalis tikus wistar.

3.6. Alat dan Bahan Penelitian

3.6.1. Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam percobaan ini :

1. Rangkaian listrik AC

2. Tabung
3. Alat bedah minor (pinset, gunting, scalpel, dll)
4. Alat untuk pembuatan preparat histologi.
5. Alat untuk melihat histologi jaringan: deckglass, objectglass, mikroskop.

3.6.2. Bahan

Bahan-bahan untuk percobaan ini :

1. Aquades
2. Tikus Wistar
3. Bahan-bahan untuk metode baku histologi pemeriksaan jaringan:
 - Larutan *Bouin*
 - Larutan buffer formalin 10%
 - Parafin
 - Albumin
 - *Hematoksin Eosin*
 - Larutan *Xylol*
 - Alkohol bertingkat 30%, 40%, 50%, 70%, 80%, 90%, 96%

3.7. Data yang Dikumpulkan

Data yang dikumpulkan adalah data primer hasil pengamatan terhadap kerusakan otot intercostalis tikus wistar.

3.8. Cara Pengumpulan Data

Sebelum mendapatkan perlakuan, 25 ekor tikus umur 3 bulan, diaklimatisasi di laboratorium dengan dikandangkan secara individual dan diberi ransum pakan standar dan minum selama 1 minggu secara *ad libitum*.

Duapuluh lima ekor tikus tersebut kemudian dibagi menjadi 5 kelompok, masing-masing terdiri dari 5 ekor tikus yang ditentukan secara acak. Masing-masing kelompok dikandangkan secara individual.

Lima kelompok perlakuan tersebut adalah:

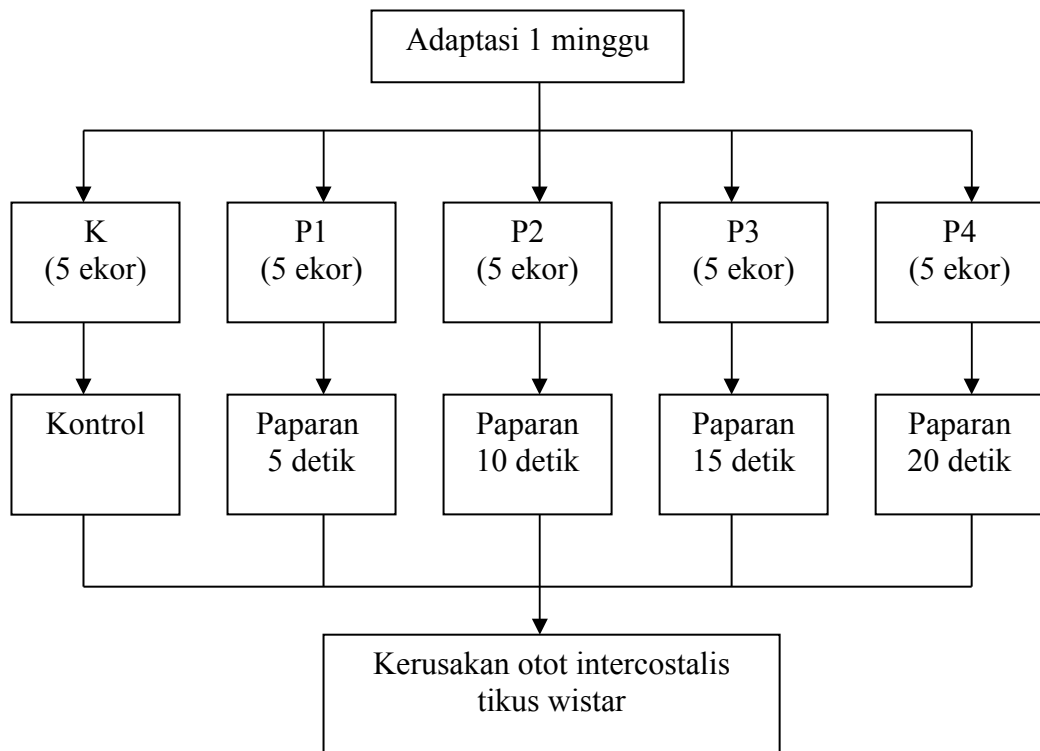
Kontrol (K1) : tidak diberi perlakuan.

Perlakuan 1 (P1) : diberi lama paparan arus listrik AC selama 5 detik

Perlakuan 2 (P2) : diberi lama paparan arus listrik AC selama 10 detik

Perlakuan 3 (P3) : diberi lama paparan arus listrik AC selama 15 detik

Perlakuan 4 (P4) : diberi lama paparan arus listrik AC selama 20 detik



Tikus diperlakukan seperti di atas, Tegangan yang digunakan adalah 220volt, dengan kuar arus 100mA. Pengamatan dilakukan setelah tikus mati. Dari setiap tikus dibuat dua preparat otot intercostalis dan tiap preparat dibaca dalam 5 lapangan pandang dengan perbesaran 400x. Sasaran yang dibaca adalah perubahan struktur otot intercostalis tikus, dengan melihat besarnya (persentase) kerusakan struktur otot intercostalis tikus wistar. Data pemeriksaan ditulis dalam formulir untuk kemudian dianalisa.

3.9. Cara Kerja

Adaptasi tikus selama 1 minggu dengan diberi pakan standart dan diadaptasikan pada air. Tikus diikat dengan tali kemudian dimasukkan kedalam

tabung (dalam rangkaian alat) yang berisi air kemudian alat dinyalakan dengan waktu tertentu sesuai kelompok perlakuan.

Tikus coba yang belum mati, dimatikan dengan cara dislokasi leher. Kemudian tikus dibaringkan terlentang dan seluruh permukaan ventral disiram alkohol 70% untuk mengurangi kemungkinan pencemaran ke ruangan atau kontaminasi selama pembedahan. Dibuat irisan kecil pada kulit menggunakan gunting pada medial thorax. Otot intercostalis diambil, dan dibersihkan dari jaringan ikat maupun pembuluh darah yang tersisa, lalu diletakkan di cawan petri berisi cairan pengawet formalin 10% bufer.

Otot intercostalis dipotong sedikit pada jaringan yang dipandang perlu untuk dibuat sediaan mikroskopis. Selanjutnya, dimasukkan ke dalam plastik untuk kemudian diolah mengikuti metoda baku histologi dengan pewarnaan *Hematoksilin Eosin*.

3.10. Definisi Operasional

Gambaran histologi yang dimaksudkan adalah mengamati gambaran histopatologi preparat otot intercostalis tikus wistar yang dipulas dengan *Hematoksilin Eosin*. Pengamatan dilakukan terhadap otot intercostalis, dipantau dengan membandingkan hasil percobaan pada kelompok perlakuan. Dilihat apakah ada perubahan struktur otot intercostalis. Dilihat apakah ada hubungan antara lama paparan dengan besarnya kerusakan (luas daerah yang mengalami hiperemis, ruptur dan nekrosis).

Paparan arus listrik yang dimaksud adalah menggunakan arus listrik dengan tegangan 200 volt dan kuat arus 100mA. Lama paparan pada masing-

masing kelompok percobaan berbeda-beda yaitu 3 detik, 5 detik, 10 detik, dan 15 detik.

3.10. Pengolahan dan Analisa Data

Data yang diperoleh diolah dengan program komputer SPSS 13.0 dan dilihat distribusi datanya normal atau tidak dengan uji Kolmogorov Smirnov. Bila distribusi datanya normal, diuji beda dengan menggunakan statistik parametrik One Way Anova dilanjutkan dengan uji Post Hoc. Bila diistribusi datanya tidak normal, ditransformasi. Jika setelah ditransformasi tetap didapatkan distribusi data yang tidak normal maka dilakukan uji beda menggunakan statistik non parametrik Kruskal-Wallis dan dilanjutkan dengan uji Mann Whitney:

- a. Jika $P \leq 0,05$; maka ada perbedaan yang bermakna
- b. Jika $P \geq 0,05$; maka tidak ada perbedaan yang bermakna. ²⁴

Jika didapatkan hasil yang berbeda bermakna maka ada hubungan antara lama paparan arus listrik dengan gambaran histo patologi jantung tikus Wistar.