



**HUBUNGAN ANTARA BESARNYA PAPANAN KUAT ARUS  
LISTRIK BOLAK-BALIK DI DALAM AIR TERHADAP  
GAMBARAN KERUSAKAN OTOT INTERKOSTALIS  
TIKUS *WISTAR***

**ARTIKEL KARYA TULIS ILMIAH**

Diajukan untuk memenuhi tugas dan melengkapi persyaratan dalam menempuh

Program Sarjana Fakultas Kedokteran

**Disusun oleh :**

**ANDHITA WIDIYASTUTI**

**NIM : G2A 004 013**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**FAKULTAS KEDOKTERAN**

**SEMARANG**

**2008**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

Telah disetujui oleh dosen pembimbing artikel penelitian karya tulis ilmiah atas nama mahasiswi :

Nama : Andhita Widiyastuti

NIM : G2A 004 013

Semester : VIII

Fakultas : Kedokteran

Universitas : Diponegoro

Bagian : Ilmu Kedokteran Forensik

Judul : HUBUNGAN ANTARA BESARNYA PAPARAN  
KUAT ARUS LISTRIK BOLAK-BALIK DI DALAM  
AIR TERHADAP GAMBARAN KERUSAKAN OTOT  
INTERKOSTALIS TIKUS WISTAR

Pembimbing : dr. Arif Rahman Sadad, Sp.F, M.Si. Med, SH

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

Semarang, 1 Juli 2008

Pembimbing

dr. Arif R. S, Sp.F, MSi. Med, SH  
NIP. 140 370 013

**HALAMAN PENGESAHAN****HUBUNGAN ANTARA BESARNYA PAPANAN KUAT ARUS LISTRIK  
BOLAK-BALIK DI DALAM AIR TERHADAP GAMBARAN  
KERUSAKAN OTOT INTERKOSTALIS TIKUS *WISTAR***

Yang disusun oleh :

**ANDHITA WIDIYASTUTI**

**G2A 004 013**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah  
Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro Semarang tanggal 25 Agustus 2008  
dan telah diperbaiki sesuai dengan saran-saran yang diberikan.

**TIM PENGUJI ARTIKEL**

**Penguji**

**Pembimbing**

dr. Gatot Soeharto, Sp.F, MSi.Med, SH  
NIP. 131 610 341

dr. Arif R. S, Sp.F, MSi. Med, SH  
NIP. 140 370 013

**Ketua Penguji**

dr. Ari Adrianto, Sp.B-KBD  
NIP. 132 304 744

**THE CORRELATION BETWEEN THE AMOUNT OF ALTERNATING CURRENT ELECTRICAL EXPOSURE IN WATERS TO INTERCOSTALS MUSCLES HISTOPATHOLOGY CHARACTERISTIC OF WISTAR RATS**

*Andhita Widiyastuti \**, *Arif Rahman Sadad \*\**

**ABSTRACT**

**Background :** *Human body is very sensitive to electricity. Electrical exposure without any protector can cause injury, even death. Almost all of the death caused by electricity which happened in waters, neither electrical marks nor burns resulted in the macroscopic finding. The passage of a current across the chest may lead to respiratory paralysis from spasm of the intercostals muscles. Electrothermal injury of musculature may manifest as hyperaemia, rupture, and tissue necrosis. The primary determinant of damage caused by direct effects of electricity is the amount of current flowing through the body (amperage). This research had a purpose to know the correlation between the low tension alternating current electrical exposure with different amperage to intercostals muscles histopathology characteristic of Wistar rats.*

**Method :** *An experimental study using control group with post test only control group design to Wistar rats which was given an alternating current electrical exposure . The samples which consist of 15 Wistar rats were divided into 3 groups. They were one control group, received standard diet and two treatment group, which was given an alternating current electrical exposure with 50 mA for the first treatment group (P1), and 100 mA for the second treatment group (P2). This electrical exposure was given for 10 seconds. After observing, intercostals muscles were immediately taken from the rats and made a preparat. Data were analyzed using Kruskal-Wallis method for between subject data. The statistical analysis was done with SPSS program for windows 15.00. The difference is significant when  $p < 0,05$ .*

**Result :** *The results of the study shows that third group had the highest mean of hyperaemia as  $0,94 \pm 0,38471$  ; the first group had mean of hyperaemia as 0 ; the second group had mean of hyperaemia as  $0,34 \pm 0,20736$ . The Mann-Whitney test showed that there was a significant difference ( $p < 0,05$ ) among all of groups and hyperaemia finding. The significant difference between first group and second group is  $p = 0,018$  , first group and third group is  $p = 0,005$  , and second group and third group is  $p = 0,036$ .*

**Conclusion :** *The alternating current electrical exposure with 50 mA dan 100 mA for 10 seconds caused significant intercostals muscles damage of Wistar rats, which manifest as hyperaemia. The higher the amperage was given would more increase the hyperaemia of muscle level.*

**Keyword :** *Amperage, Intercostals muscles, Hiperami.*

---

\* Undergraduate Student of Medical Faculty, Diponegoro University, Semarang

\*\* Lecturer Staff of Forensic Departement of Medical Faculty, Diponegoro University, Semarang

## HUBUNGAN ANTARA BESARNYA PAPARAN KUAT ARUS LISTRIK BOLAK-BALIK DI DALAM AIR TERHADAP GAMBARAN KERUSAKAN OTOT INTERKOSTALIS TIKUS WISTAR

Andhita Widiyastuti <sup>1)</sup>, Arif Rahman Sadad <sup>2)</sup>

### ABSTRAK

**Latar belakang :** Tubuh manusia sangat peka terhadap listrik. Pemaparan tanpa pelindung terhadap listrik dapat menyebabkan cedera bahkan kematian. Hampir pada seluruh kasus kematian akibat listrik di air, gambaran postmortem secara makroskopis dapat tidak ditemukan adanya luka bakar listrik (*electric mark*). Bila arus listrik melintasi dada dapat menyebabkan paralisis pernapasan akibat spasme dari otot interkostalis. Kerusakan pada jaringan otot yang terjadi akibat sengatan listrik dapat berupa hiperaemi, ruptur, dan nekrosis. Faktor utama yang menentukan kerusakan adalah jumlah arus yang mengalir melalui tubuh (kuat arus). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara paparan listrik bolak-balik bertegangan rendah dengan kuat arus yang berbeda terhadap gambaran histopatologi otot interkostalis tikus *Wistar*.

**Metoda :** Penelitian dengan rancangan *post test only control group design* terhadap tikus wistar yang diberi paparan listrik. Sampel terdiri dari 15 ekor tikus yang dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu 1 kelompok kontrol, yang hanya diberi pakan standar dan 2 kelompok perlakuan yang diberi paparan listrik bolak-balik dengan kuat arus 50 mA untuk kelompok perlakuan I, dan 100 mA untuk kelompok perlakuan II. Paparan listrik ini diberikan selama 10 detik. Setelah pengamatan segera dilakukan pengambilan otot interkostalis dan dibuat preparat, lalu dilakukan pemeriksaan mikroskopis. Data yang diperoleh diolah menggunakan uji statistik *Kruskal-Wallis* untuk analisis data. Seluruh analisis data dilakukan dengan menggunakan program *SPSS 15.00 for Windows*. Perbedaan dinyatakan signifikan bila  $p < 0,05$ .

**Hasil :** Rerata gambaran kerusakan otot interkostalis berupa hiperaemi yang tertinggi terdapat pada kelompok III (P2) yaitu sebesar  $0,94 \pm 0,38471$ , sedangkan pada kelompok I (K) didapatkan rerata sebesar 0 dan pada kelompok II (P1) sebesar  $0,34 \pm 0,20736$ . Uji Mann-Whitney memperlihatkan bahwa ada perbedaan yang bermakna ( $p < 0,05$ ) antara gambaran hiperaemi pembuluh darah otot interkostalis Kelompok I dan II ( $p = 0,018$ ), I dan III ( $p = 0,005$ ), serta II dan III ( $p = 0,036$ ).

**Kesimpulan :** Paparan listrik bolak-balik dengan kuat arus sebesar 50 mA dan 100 mA selama 10 detik menyebabkan kerusakan otot interkostalis tikus wistar berupa gambaran hiperaemi secara bermakna. Semakin besar kuat arus listrik yang diberikan semakin meningkat gambaran hiperaemi yang menggambarkan kerusakan jaringan otot interkostalis.

**Kata kunci :** Kuat Arus Listrik, Otot interkostalis, Hiperaemi.

---

1) Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro Semarang

2) Staf Pengajar Bagian Ilmu Kedokteran Forensik Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro Semarang

## PENDAHULUAN

Dewasa ini, hampir setiap rumah memiliki perangkat televisi, musik, penerangan, lemari es, dan banyak lagi perabotan listrik lainnya, yang semuanya membutuhkan daya listrik. Listrik telah menjadi suatu bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari, namun bila tidak ditangani dengan kewaspadaan akan keselamatan maka listrik berpotensi untuk membahayakan nyawa. Tubuh manusia sangat peka terhadap listrik. Pemaparan tanpa pelindung terhadap listrik sekecil apapun dapat menyebabkan cedera parah pada tubuh bahkan kematian.<sup>1,2</sup>

Kematian akibat listrik sering terjadi dan pada umumnya bersifat kecelakaan.<sup>3,4</sup> Pengetahuan mengenai cedera akibat listrik bagi seorang dokter sangatlah penting, tidak hanya untuk mengetahui pengelolaan yang tepat terhadap korban dengan tindakan resusitasi tetapi juga untuk kepentingan medikolegal.<sup>5</sup> Oleh sebab itu, dalam setiap investigasi kasus kematian akibat listrik, seorang dokter ahli forensik maupun dokter umum yang dimintai bantuan untuk melakukan pemeriksaan diharapkan dapat menentukan diagnosa yang tepat.

Kecelakaan karena listrik merupakan masalah global. Setiap tahun, kecelakaan akibat instalasi listrik yang tidak aman di dalam rumah telah menyebabkan cedera dan kematian yang tak terhitung jumlahnya.<sup>2</sup> Pada kasus kematian akibat listrik bertegangan rendah, hanya 50% dari seluruh kasus tersebut yang pada gambaran postmortemnya secara makroskopis dapat ditemukan adanya tanda kelainan sengatan listrik berupa luka bakar, yaitu pada titik sentuh dimana arus masuk dan keluar tubuh yang disebut sebagai *electric mark*.<sup>3,4</sup> Sedangkan

pada seluruh kasus kematian akibat listrik bertegangan tinggi ini secara makroskopis selalu dapat dijumpai adanya luka bakar yang sangat jelas, kecuali pada kondisi lingkungan yang khusus, misalnya dalam perairan.<sup>4</sup>

Hampir pada seluruh kasus kematian akibat listrik yang terjadi di perairan, misalnya pada saat korban mandi di dalam bak mandi atau sedang berada dalam perairan, gambaran postmortem secara makroskopis dapat tidak ditemukan adanya luka bakar listrik di tubuh korban. Dengan demikian diperlukan otopsi dan pemeriksaan mikroskopis jaringan dari organ – organ yang terkait untuk membantu menentukan sebab kematian.

Mekanisme kematian akibat listrik dapat berupa : 1 ) fibrilasi ventrikel, 2 ) paralisis pusat pernapasan, 3 ) paralisis pernapasan.<sup>3</sup> Otot interkostalis memiliki fungsi yang vital dalam mendukung proses pernapasan, terutama untuk mendukung mekanisme ventilasi paru.<sup>6</sup> Bila arus listrik melintasi dada dan abdomen dapat menyebabkan paralisis pernapasan akibat spasme dari otot-otot pernapasan yaitu otot interkostalis dan diafragma, atau karena otot-otot pernapasan tersebut menjadi paralisis.<sup>1</sup> Kerusakan pada jaringan otot yang terjadi akibat sengatan listrik dapat berupa hiperaemi, ruptur, dan nekrosis.<sup>5,7,8</sup>

Berat ringannya cedera akibat listrik dipengaruhi tegangan listrik (  $V$  ), kuat arus / intensitas listrik (  $I$  ) dan tahanan listrik (  $R$  ), yang dijelaskan dalam Hukum Ohm melalui persamaan berikut :  $V = I R$  , dan energi panas (  $W$  ) yang diturunkan dalam Hukum Joule :  $W = I^2 R t$  Dimana  $t$  merupakan waktu yang menunjukkan lamanya arus mengalir. Persamaan di atas menunjukkan jumlah energi panas yang dihantarkan, yang akan

menyebabkan kerusakan jaringan.<sup>5,7</sup> Faktor utama yang menentukan kerusakan adalah jumlah arus yang mengalir melalui tubuh (kuat arus ).<sup>4,7</sup>

Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat dan keparahan dari luka akibat listrik adalah tipe dari sirkuit yang terlibat. AC lebih sering dipakai dalam kehidupan sehari-hari. Manusia lebih sensitif yaitu sekitar 4-6 kali terhadap arus listrik bolak – balik (AC) dibanding arus listrik searah (DC). Efek dari kontraksi otot, bersamaan dengan bertambahnya kemampuan arus AC untuk menembus pertahanan epidermis, menjelaskan mengapa arus AC bertegangan rendah sama bahayanya dengan arus DC bertegangan tinggi.<sup>3</sup>

Berdasarkan uraian di atas maka dianggap penting untuk dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai hubungan antara besarnya paparan kuat arus listrik AC bertegangan rendah di air terhadap gambaran histopatologi jaringan otot interkostalis. Oleh karena itu rumusan masalah dari penelitian ini adalah apakah ada hubungan antara gambaran kerusakan otot interkostalis tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik bolak-balik bertegangan rendah di dalam air dengan intensitas ( kuat arus ) listrik yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara paparan listrik bolak-balik bertegangan rendah dengan intensitas ( kuat arus ) yang berbeda terhadap gambaran histopatologi otot interkostalis tikus *Wistar*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai tambahan informasi untuk penelitian-penelitian selanjutnya sehubungan dengan gambaran histopatologi otot interkostalis pada kasus kematian akibat listrik terutama di bidang patologi forensik maupun sebagai tambahan informasi dalam menegakkan diagnosa sebab

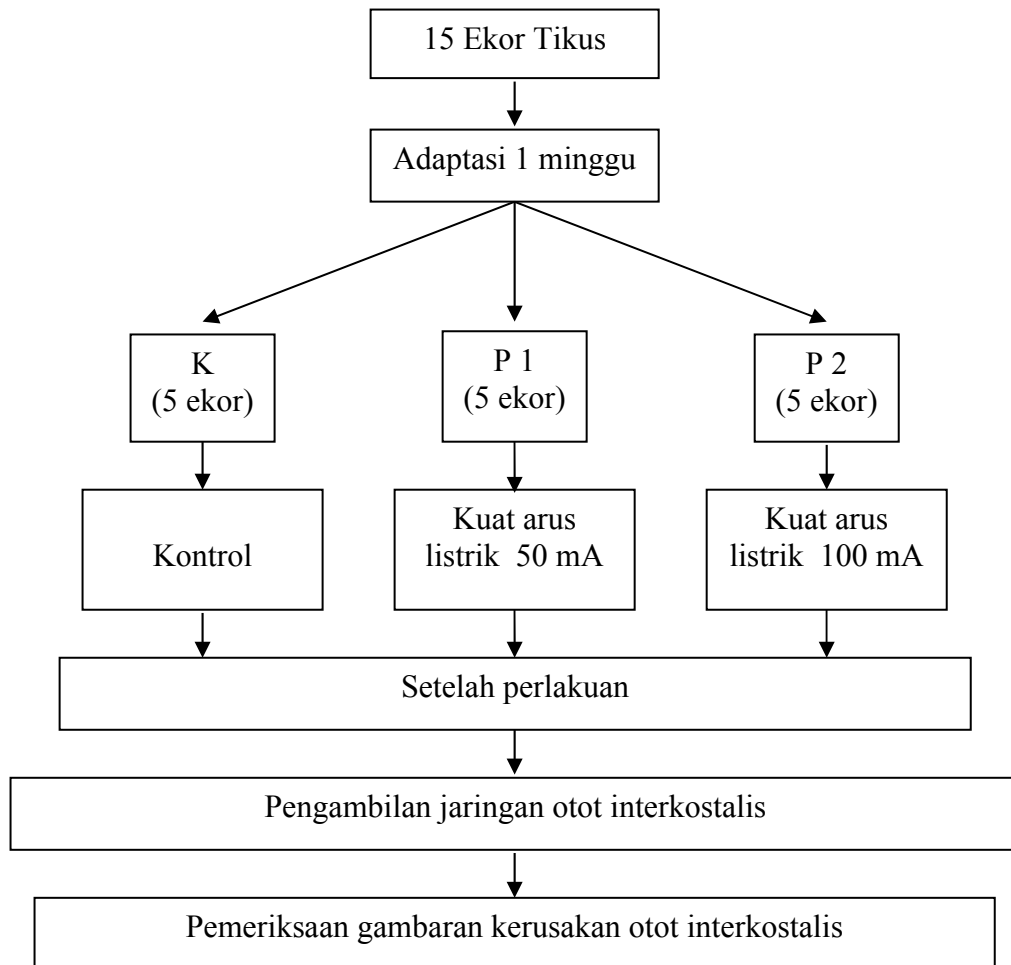


kematian akibat sengatan listrik untuk kepentingan medikolegal. Penelitian ini juga diharapkan dapat melengkapi hasil penelitian pengaruh sengatan listrik tegangan rendah pada tingkat hewan coba.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium dengan rancangan *post test only control group design* yang menggunakan binatang coba sebagai obyek percobaan. Perlakuan pada tikus dan proses pengambilan jaringan dilakukan di Laboratorium Penelitian Hewan Fakultas MIPA Jurusan Biologi UNNES. Hewan percobaan dalam penelitian ini adalah tikus *Wistar* sebanyak 15 ekor yang diperoleh dari Laboratorium Penelitian Hewan Fakultas MIPA Jurusan Biologi UNNES, keturunan murni, umur empat setengah sampai enam bulan, berat badan 300-350 gram, sehat, tidak ada abnormalitas anatomi. Kelompok penelitian dibagi secara acak menjadi tiga, yang masing-masing kelompok terdiri atas lima ekor yaitu satu kelompok kontrol dan dua kelompok perlakuan. Masing-masing kelompok tikus dikandangkan secara individual dan mendapatkan ransum pakan standar dan minum yang sama secara *ad libitum* selama 1 minggu, kemudian mendapatkan tiga perlakuan yang berbeda. Tikus yang mengalami sakit (gerakan tidak aktif) selama masa adaptasi 7 hari dieksklusikan.

Tikus kelompok I ( kontrol ) tidak diberi paparan arus listrik dan hanya diberi ransum pakan standar dan minum. Tikus kelompok II ( Perlakuan 1 ) diberi paparan listrik dengan kuat arus sebesar 50 mA. Tikus kelompok III ( Perlakuan 2 ) diberi paparan listrik dengan kuat arus sebesar 100 mA.



**Gambar 1.** Alur Kerja Penelitian

Keterangan :

- K : Kelompok Kontrol
- P1 : Kelompok Perlakuan 1.
- P2 : Kelompok Perlakuan 2.

Tikus diperlakukan seperti di atas, paparan arus listrik dengan tegangan 220 V diberi melalui air sebagai konduktor. Pengamatan dilakukan segera setelah

tikus *Wistar* tersebut mengalami kematian setelah terpapar arus listrik. Setelah pengamatan segera dilakukan pengambilan otot interkostalis dan dibuat preparat yang diproses dengan metode baku histologi, lalu dilakukan pemeriksaan mikroskopis.

Dari setiap tikus dibuat dua preparat jaringan otot interkostalis dan tiap preparat dibaca dalam lima lapangan pandang yaitu pada keempat sudut dan bagian tengah preparat dengan perbesaran 400x. Sasaran yang dibaca adalah perubahan struktur histopatologi otot interkostalis. Data pemeriksaan kemudian dicatat dalam formulir untuk kemudian dianalisa.

Data yang diperoleh diolah dengan program komputer SPSS 15.0 *for Windows*. Data yang diperoleh kemudian diuji melalui serangkaian uji hipotesis dan statistik sebagai berikut :

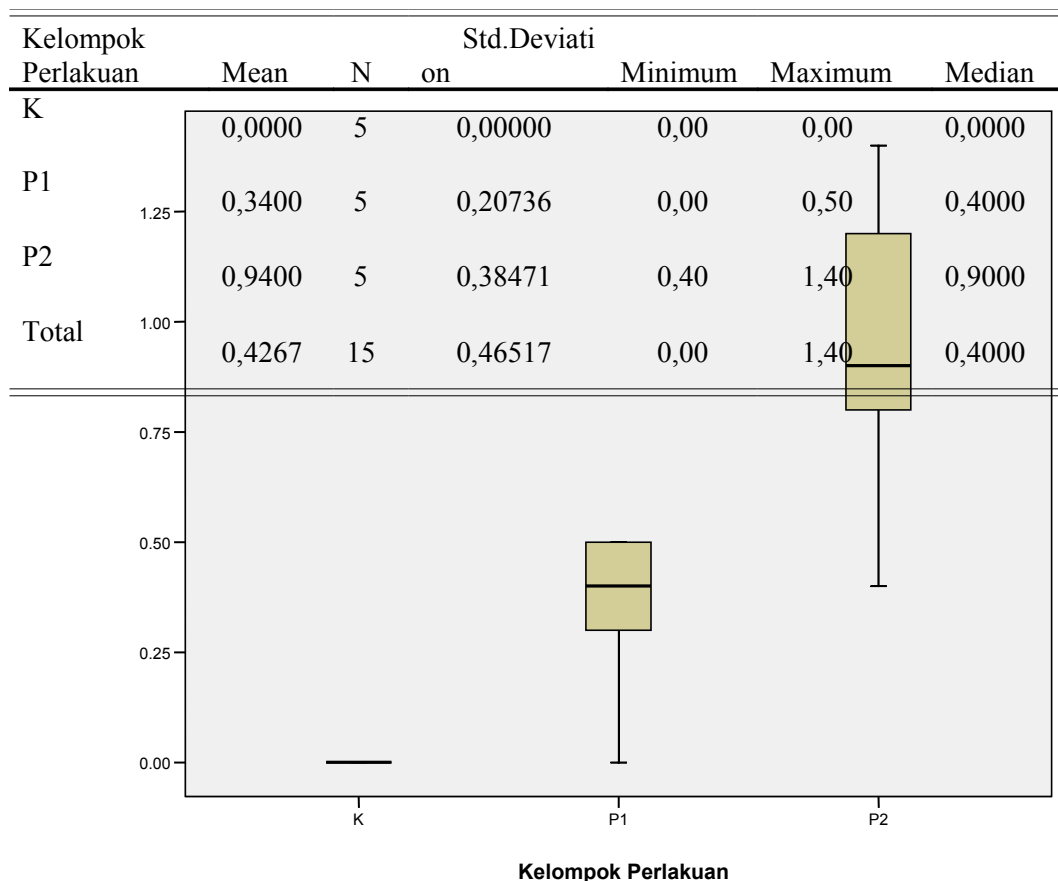
1. Untuk menentukan distribusi data normal atau tidak dilakukan uji normalitas *Shapiro-Wilk* karena besar sampel kecil ( $n \leq 50$ ).
2. Karena didapatkan data dengan sebaran tidak normal maka digunakan uji non-parametrik *Kruskal-Wallis* untuk melihat perbedaan yang bermakna antar kelompok. Karena pada keduanya ditemukan perbedaan yang bermakna ( $p < 0,05$ ) maka dilanjutkan dengan analisis *Mann-Whitney* untuk uji *Kruskal-Wallis*.

## HASIL PENELITIAN

Jumlah sample penelitian ini adalah 5 untuk tiap kelompok. Karena syarat untuk uji parametrik tidak terpenuhi, maka pengolahan data menggunakan statistik non parametrik.

Tabel 1 memperlihatkan rerata gambaran kerusakan otot interkostalis berupa hiperaemi yang tertinggi terdapat pada kelompok III (P2), yang diberi paparan arus listrik 100 mA selama 10 detik yaitu sebesar  $0,94 \pm 0,38471$ , sedangkan pada kelompok I (K) didapatkan rerata sebesar 0 dan pada kelompok II (P1) sebesar  $0,34 \pm 0,20736$ .

**Tabel 1.** Nilai mean dan median hiperaemi pada jaringan otot interkostalis tikus wistar



H i p e r a e m i .

**Gambar 1.** Grafik box-plot hiperaemi pada jaringan otot interkostalis tikus wistar

Uji Kruskal –Wallis terhadap gambaran hiperaemi otot interkostalis antara kelompok I, II, dan III menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna ,  $p < 0,05$ . Tabel 2 memperlihatkan Uji Mann-Whitney yang menunjukkan adanya perbedaan yang bermakna antara gambaran hiperaemi pembuluh darah otot interkostalis Kelompok I dan II ( $p = 0,018$ ), I dan III ( $p = 0,005$ ), serta II dan III ( $p = 0,036$ ).

**Tabel 2.** Hasil uji statistik perbandingan antar kelompok (Mann-Whitney)

	K	P1	P2
K	-	0,018*	0,005*
P1	0,018*	-	0,036*
P2	0,005*	0,036*	-

## PEMBAHASAN

Peningkatan gambaran hiperaemi pada jaringan otot interkostalis secara bermakna setelah paparan listrik bolak-balik dengan kuat arus yang bertingkat menunjukkan bahwa kuat arus listrik merupakan faktor penting yang menentukan berat ringannya kerusakan jaringan<sup>4,6</sup>. Hiperaemi merupakan peningkatan volume darah karena pelebaran pembuluh darah kecil<sup>9</sup>. Peningkatan gambaran hiperaemi yang signifikan setelah paparan listrik disebabkan oleh panas dari energi listrik. Dalam hukum Joule, panas yang diturunkan adalah sebanding dengan kuadrat kuat arus<sup>5</sup>. Struktur jaringan pembuluh darah sendiri karena tingginya elektrolit dan kandungan air yang dimilikinya menjadikannya sebagai konduktor yang baik<sup>10</sup>.

Dari penelitian sebelumnya, disebutkan bahwa cedera akibat listrik dapat menimbulkan gambaran kerusakan berupa hiperaemi, ruptur, dan nekrosis<sup>5,7,8</sup>. Pada dasarnya mekanisme utama dari cedera jaringan akibat listrik meliputi efek langsung dan tak langsung. Efek langsungnya akan memicu tetanus otot dan menyebabkan kerusakan langsung pada jaringan, sedangkan efek tak langsung

dapat menyebabkan pemanasan jaringan dan kerusakan jaringan yang lebih luas yang dapat berupa ruptur membran sel (elektroporasi) dan nekrosis<sup>8,11</sup>.

Dalam penelitian ini tidak didapatkan gambaran kerusakan berupa ruptur dan nekrosis. Ruptur dan nekrosis merupakan efek tidak langsung dari cedera akibat listrik yang kemungkinan membutuhkan waktu lebih lama untuk terjadinya dibandingkan proses hiperaemi. Disebutkan dalam literatur, pada proses terjadinya nekrosis koagulativa otot, beberapa jam setelah pajanan, terjadi peningkatan tekanan interstitial pada compartment yang melampaui tekanan perfusi kapiler, yang mengakibatkan iskemi otot. Setelah 6 sampai 8 jam iskemi, kerusakan otot menjadi irreversibel. Berkurangnya perfusi mengakibatkan kenaikan permeabilitas kapiler dan ekstrasvasasi cairan intravascular serta menambah tekanan intersisial pada compartemen. Proses nekrosis koagulativa khas untuk kematian hipoksia sel pada semua jaringan kecuali otak<sup>12</sup>.

Sedangkan ruptur membran sel merupakan mekanisme penting untuk terjadinya cedera jaringan (berupa elektroporasi/pelubangan pada membran sel)<sup>8</sup>. Banyak bukti menunjukkan bahwa ruptur membran sel sebagai faktor utama patogenesis jejas sel yang irreversibel<sup>12</sup>. Elektroporesis dapat reversibel atau irreversibel tergantung dari banyaknya variabel fisik termasuk besar medan yang menginduksi potensial transmembran dan durasi dari medan yang dibebankan<sup>8</sup>. Bila dalam penelitian ini tidak terjadi ruptur, mungkin akibat dari tidak terpenuhinya variabel-variabel tersebut.

Faktor yang menjadi penyebab masalah di atas kemungkinan adalah air yang digunakan sebagai mediator dalam penelitian ini. Air merupakan konduktor

dimana arus listrik akan mengalir melalui cairan dan disebut sebagai konduksi ionik<sup>13</sup>. Sedangkan kulit merupakan resistor alami dan utama untuk arus, kulit kering mempunyai tahanan 40.000-100.000 ohm, dan kulit tebal mempunyai tahanan 2.000.000 ohm<sup>14</sup>. Menurut penelitian, pencelupan dalam air menyebabkan penurunan tahanan menjadi 1200-1500 ohm<sup>5</sup>. Dalam aplikasinya untuk meneliti kasus kematian akibat listrik di air, diharapkan bahwa pencelupan di air akan memperkecil tahanan sehingga akan memperbesar kerusakan jaringan. Pada penelitian ini digunakan air tawar/ air murni. Ternyata air murni bukan merupakan konduktor yang baik. Kemampuan air untuk menghantarkan arus listrik (konduktivitas listrik) tergantung dari konsentrasi ion dalam air, jenis ion yang terkandung, dan temperatur air. Konduktivitas listrik air tawar lebih rendah dari konduktivitas air laut<sup>13</sup>. Dengan kata lain, tahanan listrik air tawar lebih tinggi dari tahanan air laut.

Faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah mekanisme kerja dari penelitian ini, dimana arus listrik dialirkan ke tubuh tikus melalui media air dengan cara menyentuh elektroda sumber listrik ke air, bukan langsung ke tubuh tikus. Menurut teori, titik sentuh dari kontak langsung dengan listrik dan lintasan arus akan menentukan jaringan yang beresiko dan derajat dari konversi energi listrik menjadi energi panas<sup>5</sup>. Mengingat pernyataan di atas bahwa air juga memiliki tahanannya sendiri, hal ini tentu akan berpengaruh terhadap hasil cedera jaringan akibat energi panas karena energi panas yang dihasilkan merupakan respon proporsional dengan tahanan untuk arus dan waktu yang diperlukan untuk difusi panas.<sup>15</sup>



## **KESIMPULAN**

Terdapat hubungan antara kerusakan otot interkostalis tikus Wistar antara kelompok yang diberikan arus listrik bolak-balik di dalam air dengan kelompok yang tidak diberikan arus listrik bolak-balik, dan antara setiap kelompok yang diberikan arus bolak-balik di dalam air dengan intensitas/kuat arus yang berbeda. Derajat perubahan struktur otot interkostalis yang ditemukan berupa hiperaemi.

## **SARAN**

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh paparan listrik bolak-balik di air terhadap perubahan derajat kerusakan otot interkostalis dengan besar kuat arus yang lebih bervariasi dan dalam waktu yang lebih lama, dengan jenis air yang sama ( disarankan menggunakan air PAM agar lebih aplikatif untuk masyarakat ).
2. Perlu dilakukan penelitian pembandingan mengenai pengaruh paparan arus listrik bolak-balik di air dengan cara kerja yang berbeda dimana elektroda sumber listrik langsung disentuhkan ke tubuh hewan coba dalam keadaan basah.
3. Perlu dilakukan penelitian pembandingan mengenai pengaruh paparan arus listrik bolak-balik di air dengan besar arus listrik dan waktu yang sama dengan penelitian ini terhadap enzim otot interkostalis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini Penulis menghaturkan ucapan terima kasih kepada :

1. Tuhan YME, atas berkatNya Penulis dapat menyelesaikan artikel ini.
2. dr. Arif Rahman Sadad, Sp.F, M.Si.Med, SH, selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, nasehat, dan bantuannya dalam keseluruhan penyusunan dan pelaksanaan KTI ini.
3. dr. Gatot Soeharto, Sp.F, Msi.Med, SH, selaku reviewer proposal penelitian ini, atas bimbingan dan masukan yang diberikan.
4. dr. Ari Adrianto, Sp.B-KBD, selaku ketua penguji dalam ujian artikel KTI ini.
5. dr. Arfi Syamsun yang telah mendampingi dan mengarahkan dalam pelaksanaan penelitian ini
6. Kepala Bagian dan seluruh Staf Pengajar Bagian Ilmu Kedokteran Forensik Fakultas Kedokteran UNDIP.
7. Staf Bagian Patologi anatomi Fakultas Kedokteran UNDIP.
8. Staf Laboratorium Penelitian Hewan Fakultas MIPA Jurusan Biologi UNNES yang telah banyak membantu pelaksanaan penelitian ini.
9. Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro UNDIP.
10. Keluarga tercinta atas segala perhatian, doa, dan dukungannya.
11. Teman-teman satu kelompok serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Knight B. Forensic pathology. 2nd ed. London: Arnold Publisher; 1996. p. 319-31.
2. Copper Development Centre Asia Tenggara. Hindari bahaya listrik jagalah nyawa dan harta milik anda [pamflet]. Singapura: Copper Development Centre Asia Tenggara; 2003.
3. Idries AM. Pedoman ilmu kedokteran forensik. Jakarta: Binarupa Aksara; 1997. hal. 108-17.
4. DiMaio VJ, DiMaio D. Forensic pathology. 2nd ed. Boca Raton (FL): CRC Press LCC; 2001.
5. Cooper AM, Price TG. Electrical and lightning injuries. [Online]. [cited 2007 Sep 9];[28 screens]. Available from:  
[URL:<http://www.uic.edu/labs/lightninginjury/Electr&Ltn.pdf>](http://www.uic.edu/labs/lightninginjury/Electr&Ltn.pdf)
6. Guyton AC, Hall JE. Irawati S, editor. Buku ajar fisiologi kedokteran. Edisi 9. Jakarta: EGC; 1997. hal. 597-8.

7. Spies C, Trohman RG. Electrocutation and life-threatening electrical injuries. *Annals of internal medicine* [serial online] 2006 Oct 3 [cited 2007 Sep 9]; 145(7):531-7.  
Available from : [URL:http://www.annals.org/cgi/content/abstract/145/7/531](http://www.annals.org/cgi/content/abstract/145/7/531)
  
8. Lee RC, Dougherty W. Electrical injury: mechanisms, manifestations, and therapy. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* [serial online] 2003 Oct 14 [cited 2007 Sep 8]; 10(5):810-9. Available from:  
[URL:http://www.ieeexplore.ieee.org/iel5/94/27738/01237330.pdf?arnumber=1237330](http://www.ieeexplore.ieee.org/iel5/94/27738/01237330.pdf?arnumber=1237330)
  
9. Robbins SL, Kumar V. Buku ajar patologi I. Edisi 4. Terjemahan oleh: Staf Pengajar Laboratorium Patologi Anatomi FK UNAIR. Jakarta: EGC; 1995. hal. 69.
  
10. Liotta EA. Burn, electrical. [Online]. 2006 Oct 18 [cited 2007 Jul 22];  
Available from: [URL:http://www.emedicine.com/derm/topic859.htm](http://www.emedicine.com/derm/topic859.htm)
  
11. Daley BJ. Electrical injuries. [Online]. 2006 Aug 2 [cited 2007 Jul 19];  
Available from: [URL:http://www.emedicine.com/med/topic2810.htm](http://www.emedicine.com/med/topic2810.htm)

12. Cotran RS. Jejas sel dan adaptasi. Dalam: Robbins SL, Kumar V. Buku ajar patologi I. Edisi 4. Terjemahan oleh: Staf Pengajar Laboratorium Patologi Anatomik FK UNAIR. Jakarta: EGC; 1995. hal. 1-24.

13. Lenntech. Water conductivity. [Online]. 2008 [cited 2008 Jun 25];

Available from: URL:[http://www.lenntech.com/feedback\\_uk.htm](http://www.lenntech.com/feedback_uk.htm)

14. Benson BE. Burns, electrical. [Online]. 2006 Oct 3 [cited 2007 Jul 19];

Available from: URL:<http://www.emedicine.com/PED/topic2734.htm>

15. Lee RC, Rudall D. Injury mechanisms and therapeutic advances in the study of electrical shock. Engineering in Medicine and Biology Society [serial online] 2002 Aug 8 [cited 2007 Sep 8]; 7:2825-7. Available from:

URL:[http://www.ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=59381](http://www.ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=59381)

## LAMPIRAN

## Case Processing Summary

Kelompok Perlakuan	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Hiperaemi K	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%
P1	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%
P2	5	100.0%	0	.0%	5	100.0%

## Kelompok Perlakuan

Descriptives<sup>a</sup>

Kelompok Perlakuan			Statistic	Std. Error		
Hiperaemi	P1	Mean	.3400	.09274		
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound Upper Bound	.0825 .5975		
		5% Trimmed Mean	.3500			
		Median	.4000			
		Variance	.043			
		Std. Deviation	.20736			
		Minimum	.00			
		Maximum	.50			
		Range	.50			
		Interquartile Range	.35			
		Skewness	-1.447	.913		
		Kurtosis	1.931	2.000		
		P2	P2	Mean	.9400	.17205
				95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound Upper Bound	.4623 1.4177
5% Trimmed Mean	.9444					
Median	.9000					
Variance	.148					
Std. Deviation	.38471					
Minimum	.40					
Maximum	1.40					
Range	1.00					
Interquartile Range	.70					
Skewness	-.332			.913		
Kurtosis	-.310			2.000		

a. Hiperaemi is constant when Kelompok Perlakuan = K. It has been omitted.

### Tests of Normality<sup>b</sup>

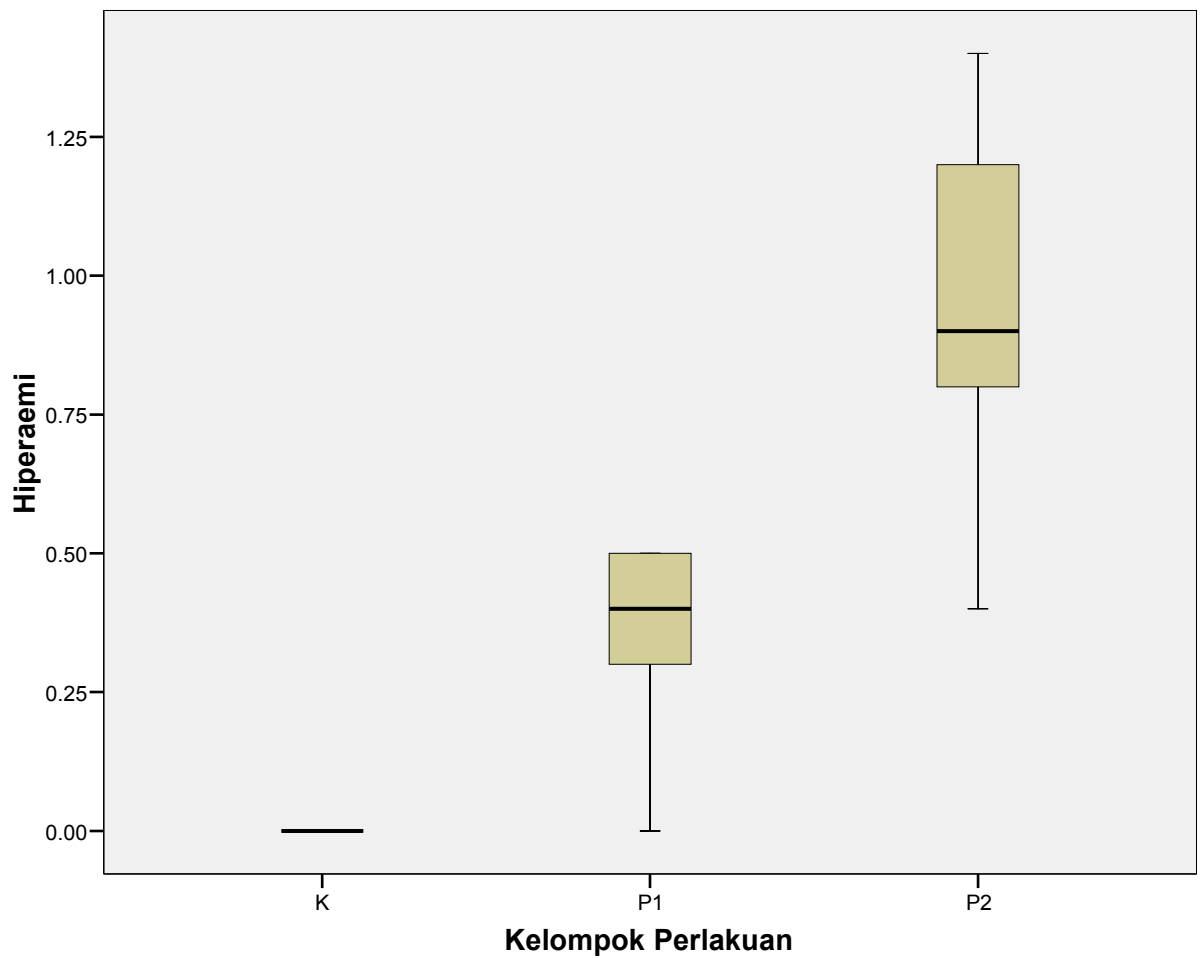
Kelompok Perlakuan		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Hiperaemi	P1	.224	5	.200*	.842	5	.171
	P2	.158	5	.200*	.979	5	.928

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

a. Lilliefors Significance Correction

b. Hiperaemi is constant when Kelompok Perlakuan = K. It has been omitted.

## Hiperaemi Normal Q-Q Plots Detrended Normal Q-Q Plots



## NPar Tests

### Kruskal-Wallis Test

Ranks

	Kelompok Perlakuan	N	Mean Rank
Hiperaemi	K	5	3.50
	P1	5	8.00
	P2	5	12.50
	Total	15	

Test Statistics<sup>a,b</sup>

	Hiperaemi
Chi-Square	10.841
df	2
Asymp. Sig.	.004

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kelompok Perlakuan

## NPar Tests

### Mann-Whitney Test

Ranks

	Kelompok Perlakuan	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Hiperaemi	K	5	3.50	17.50
	P1	5	7.50	37.50
	Total	10		

Test Statistics<sup>b</sup>

	Hiperaemi
Mann-Whitney U	2.500
Wilcoxon W	17.500
Z	-2.362
Asymp. Sig. (2-tailed)	.018
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.032 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok Perlakuan



## NPar Tests

### Mann-Whitney Test

Ranks

	Kelompok Perlakuan	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Hiperaemi	K	5	3.00	15.00
	P2	5	8.00	40.00
	Total	10		

Test Statistics<sup>b</sup>

	Hiperaemi
Mann-Whitney U	.000
Wilcoxon W	15.000
Z	-2.785
Asymp. Sig. (2-tailed)	.005
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.008 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok Perlakuan

## NPar Tests

### Mann-Whitney Test

	Kelompok Perlakuan	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Hiperaemi	P1	5	3.50	17.50
	P2	5	7.50	37.50
	Total	10		

Test Statistics<sup>b</sup>

	Hiperaemi
Mann-Whitney U	2.500
Wilcoxon W	17.500
Z	-2.102
Asymp. Sig. (2-tailed)	.036
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.032 <sup>a</sup>

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: Kelompok Perlakuan

## Means

### Case Processing Summary

	Cases					
	Included		Excluded		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
Hiperaemi * Kelompok Perlakuan	15	51.7%	14	48.3%	29	100.0%

### Report

Hiperaemi

Kelompok Perlakuan	Mean	N	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Median
K	.0000	5	.00000	.00	.00	.0000
P1	.3400	5	.20736	.00	.50	.4000
P2	.9400	5	.38471	.40	1.40	.9000
Total	.4267	15	.46517	.00	1.40	.4000