



**EFEK PAPARAN ARUS LISTRIK MELALUI MEDIUM AIR
TERHADAP GAMBARAN HISTOPATOLOGIK
OTOT JANTUNG TIKUS WISTAR**

*THE EFFECTS OF ELECTRICAL EXPOSSURE THROUGH
FRESH WATER MEDIUM TOWARDS HISTOPATHOLOGICAL CHANGES OF
MYOCARDIAL WISTAR RATS*

ARTIKEL KARYA TULIS ILMIAH

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna mencapai derajat sarjana strata-1 kedokteran umum**

**DIMAS EGA WIJAYA PUTRA
G2A006048**

**PROGRAM PENDIDIKAN SARJANA KEDOKTERAN
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
TAHUN 2010**

EFEK PAPAN ARUS LISTRIK MELALUI MEDIUM AIR TERHADAP GAMBARAN HISTOPATOLOGIK OTOT JANTUNG TIKUS WISTAR

Dimas Ega Wijaya Putra¹, Hadi², Ratna Relawati³
ABSTRAK

Latar Belakang: Kematian karena aliran listrik dalam air tidak selalu menunjukkan fenomena spesifik. Hanya sekitar 55% yang menunjukkan tanda tersebut, oleh sebab itu diagnosa kematian akibat sengatan listrik merupakan hasil kerjasama antara patologi, toksikologi forensik, dan polisi penyelidik. Jantung adalah organ yang paling rentan terpapar dalam kasus sengatan listrik. Penelitian ini diharapkan memberikan pengaruh yang bermakna untuk kepentingan medikolegal sehingga meminimalkan diagnosa yang tidak tepat tentang kematian akibat trauma arus listrik.

Tujuan: Mengetahui efek paparan arus listrik melalui medium air terhadap gambaran histopatologik otot jantung pada tikus *wistar*.

Metode: Penelitian ini dengan rancangan *post test only control group design*. Sampel 30 ekor tikus dibagi dalam 5 kelompok. Tiap kelompok terdiri dari 6 ekor tikus wistar. Kelompok V,VI,VII,VIII masing-masing diberi arus listrik dengan kuat arus 1-30mA, 31-60mA, 61-90mA, 91-120mA dilewatkan melalui medium air dengan tegangan 220volt selama 60detik. Organ jantung diambil, kemudian dibuat preparat dan dilakukan pengecatan Hematoksilin Eosin. Data yang dilihat adalah preparat ventrikel dan dilaporkan berupa jumlah titik hiperkontraksi.

Hasil: Uji *one way anova* didapatkan hasil adanya perbedaan yang bermakna antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan ($p=0,000$). Uji *post hoc* terdapat perbedaan bermakna antara masing-masing kelompok kontrol maupun kelompok perlakuan ($p=0,000$ dan $p=0,001$), namun terdapat perbedaan tidak bermakna antara kelompok V dan kelompok VIII ($p=0,999$).

Kesimpulan: Terdapat gambaran hiperkontraksi ventrikel jantung akibat paparan arus listrik secara bertingkat melalui medium air.

Kata kunci: Kontak listrik melalui air, histopatologik otot jantung, hiperkontraksi ventrikel jantung tikus *Wistar*

¹Mahasiswa program pendidikan S-1 kedokteran umum FK UNDIP

²Staf Pengajar bagian Forensik FK UNDIP, Jl. Dr. Sutomo No. 18 Semarang

³Staf Pengajar bagian Forensik FK UNDIP, Jl. Dr. Sutomo No. 18 Semarang

THE EFFECTS OF ELECTRICAL EXPOSSURE THROUGH
FRESH WATER MEDIUM TOWARDS HISTOPATHOLOGICAL CHANGES
OF MYOCARDIAL WISTAR RATS

ABSTRACT

Background: Death by electrocution in the water, not always show specific phenomenon. Only about 55% show spesific sign. The diagnosis of death by electrocution needs cooperation of pathology, toxicology forensic, and investigating officer. Heart is the organ most vulnerable exposed in case of electric shock. We hope this research give significant influence medicolegal aspect to minimize the confusion diagnostic about death by electrocution.

Purpose Determine the effect of exposure to electric current through fresh water medium towards histopathological changes of myocardial wistar rat.

Method: This research used the post test only control group design. 30 Wistar rats were divided into 5 groups. Each groups contains of 6 Wistar rats. Group V,VI,VII,VIII each given with a electric current flows 1-30mA, 31-60mA, 61-90mA, 91-120mA were them passed through a water medium with voltage 220volt during 60 seconds. The cardiac were taken and stained using Hematoxylin Eosin. Data views are preparations of the ventricle and Reported a number of point hypercontraction.

Results: The result of one way anova showed a significant difference of the number of point hypercontraction in Wistar rats between control and experimental groups ($p=0,000$). The result of post hoc showed a significant difference of the number of point hypercontraction in Wistar rats between each control and experimental groups ($p=0,000$ and $p=0,001$), but there were no significant differences between group V and group VIII ($p=0.999$.)

Conclusion: There are images of heart ventricles hypercontraction due multilevel electrical expossure through fresh water medium.

Keyword: Water conducted electrical current, myocardial histopatologic, ventricle hipercontraction of myocardial in wistar rats.

PENDAHULUAN

Lintasan listrik yang melalui jaringan dapat menyebabkan lesi kulit, kerusakan organ dan kematian. Kematian biasanya karena kecelakaan, baik di lingkungan rumah tangga atau industri, meskipun dapat pula terjadi pada kasus bunuh diri dan pembunuhan.¹

Jenis dan luasnya akibat sengatan listrik berhubungan langsung dengan tegangan listrik, besarnya paparan arus listrik, tahanan tubuh, lamanya kontak dengan sumber listrik, bagian tubuh yang terpapar listrik, dan tipe arus listrik. Lintasan arus listrik bolak-balik (AC) lebih sering menyebabkan trauma dibandingkan arus listrik searah (DC). Tegangan tinggi (lebih dari 500V) dapat menyebabkan kematian mendadak akibat dari henti jantung (*cardiac arrest*), tetapi untuk tegangan rendah (110-380V, arus searah 50-60Hz) kematian biasanya akibat dari fibrilasi ventrikel. Ada 3 mekanisme utama dalam proses terjadinya luka akibat sengatan listrik, yaitu kerusakan jaringan secara langsung, perubahan energi listrik menjadi energi panas yang mengakibatkan luka bakar dan diakhiri dengan nekrosis jaringan, serta serangan mekanik yang menimbulkan trauma.¹⁻³

Kasus di Amerika, 1000 orang meninggal dunia akibat sengatan listrik setiap tahunnya. Kasus sengatan listrik menempati peringkat ke-5 sebagai kejadian fatal dalam kecelakaan kerja di Amerika, 1% kasus kematian dalam kecelakaan di rumah tangga disebabkan oleh sengatan listrik dan 60% dilaporkan peristiwa tersebut terjadi pada paparan arus listrik dengan tegangan 110-220V dan terbanyak pada kesalahan penggunaan peralatan rumah tangga atau penggunaan peralatan elektronik yang dekat dengan sumber air. William Dokov, melakukan autopsi terhadap 485 korban kematian akibat sengatan listrik di Bulgaria dari tahun 1980-2006. Secara gender, laki-laki lebih sering terpapar trauma listrik dibandingkan perempuan dengan persentase perbandingan 85% : 15%. Berdasarkan tempat kejadian 61% terjadi di dalam rumah tangga, 24% tempat kerja, dan 15% lainnya. Sedangkan berdasarkan besarnya paparan, arus listrik dengan tegangan rendah lebih sering menyebabkan trauma hingga kematian dengan frekuensi 42,06%, tegangan tinggi 30,72%, dan yang tidak diketahui 27,22%.⁴⁻⁶

Luka bakar pada titik masuk arus listrik yang tampak pada pemeriksaan makroskopis biasa disebut dengan *cutaneous electrical mark*. Gambaran *cutaneous electrical mark* akan lebih jarang dan sulit ditemukan pada kasus sengatan listrik dalam air. *Cutaneous electrical mark* pada kejadian sengatan listrik di kamar mandi terkadang tidak dijumpai. Pada kejadian kematian akibat sengatan listrik di kamar mandi juga tidak ditemukan adanya luka bakar, dikarenakan pada keadaan basah resistensi kulit sedemikian rendah. Menyebabkan jumlah produksi panas tak cukup untuk meningkatkan suhu sampai titik lepuh sehingga tidak menimbulkan luka bakar spesifik pada kulit. Tetapi dapat terjadi kerusakan organ dalam sehingga mengakibatkan terjadinya kematian. Gambaran pucat yang terbentuk pada batas tubuh yang terendam air dan tidak terendam air dapat terjadi pada kasus kematian di *bath tub*, sehingga secara tidak langsung akan memberi petunjuk bagi dokter untuk menentukan penyebab kematian. Namun hal ini harus didukung dengan pasti telah terjadi peristiwa sengatan listrik atau ditemukan adanya peralatan listrik atau konduktor listrik di sekitar TKP. Oleh sebab itu diagnosanya merupakan hasil kerjasama antara patologi forensik, toksikologi forensik, dan polisi penyelidik.^{2,7,8}

Jantung adalah organ yang paling rentan terpapar dalam kasus sengatan listrik dan kelainan yang terjadi mulai dari aritmia hingga kemungkinan kerusakan struktur otot jantung. Sengatan listrik bisa menyebabkan bermacam-macam *cardiac dysrhythmias* seperti ventrikel asistol, fibrilasi ventrikel, sinus takikardi, dan blok denyut jantung. Biasanya kematian karena aritmia jantung menyebabkan fibrilasi ventrikel dan *cardiac arrest* (henti jantung). Gambaran klinis tersebut diatas juga dapat ditemukan pada penyakit jantung lain yang tidak ada hubungannya dengan sengatan listrik dan gambaran klinis tersebut tidak dapat dilihat jika orang tersebut telah meninggal dunia.^{9,10}

Oleh karena tanda makroskopis tersebut tidak spesifik maka diperlukan bukti mikroskopis, salah satunya dari gambaran histopatologik otot jantung korban. Gambaran mikroskopis otot jantung korban sengatan listrik dapat ditemukan tidak adanya perubahan patologi sama sekali sampai dengan terjadi kerusakan yang sangat berat pada serat otot berupa plak infark, perdarahan,

infiltrasi lemak dan edema. Fineschi (2006) melaporkan bahwa terjadi perubahan serat otot jantung berupa teregang dan terputusnya diskus interkalatus dan terputusnya myofibril (MFB) sebanyak 90 % korban akibat sengatan listrik.¹¹

Banyak eksperimen telah dilakukan untuk mengetahui efek paparan arus listrik terhadap gambaran histopatologik otot jantung tikus *wistar*, namun belum ditemukan penelitian mengenai efek paparan arus listrik secara bertingkat melalui medium air terhadap gambaran histopatologik otot jantung berupa hiperkontraksi ventrikel tikus *wistar*.

Berdasarkan fakta tersebut, permasalahan penelitian ini adalah apakah efek paparan arus listrik melalui medium air berpengaruh terhadap gambaran histopatologik otot jantung pada tikus *wistar*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efek paparan arus listrik melalui medium air terhadap gambaran histopatologik otot jantung pada tikus *wistar*.

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi mengenai perbedaan gambaran histopatologik otot jantung tikus *wistar* akibat paparan kuat arus dengan dosis bertingkat dari kuat arus 1-30mA, 31-60mA, 61-90mA, 91-120mA.

METODE

Penelitian ini meliputi bidang kedokteran forensik, patologi anatomi, histologi dan ilmu fisika. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga Fakultas Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental laboratorik dengan rancangan penelitian *post test only control group design*.

Populasi penelitian ini adalah tikus jantan *strain wistar* yang diperoleh dari Universitas Negeri Semarang. Sedangkan sampel penelitian ini diperoleh dari populasi yang ada secara *random*. Penentuan besar sampel berdasarkan ketentuan WHO dengan jumlah sampel minimal lima ekor per kelompok.¹² Untuk validitas ditambahkan 1 ekor pada masing-masing kelompok. Penelitian ini terdiri dari lima kelompok yaitu satu kelompok kontrol dan empat kelompok perlakuan. Masing-masing kelompok terdiri dari enam ekor tikus *wistar* terbagi secara acak, sehingga

dibutuhkan jumlah sampel sebanyak 30 ekor tikus *wistar*. Kriteria inklusinya adalah tikus *wistar* jantan, umur 3-4 bulan, sehat, berat badan 150-200 gram, tidak terdapat cacat anatomi dan selama observasi tujuh hari sebelum perlakuan tidak sakit. Sebagai kriteria eksklusi yaitu tikus tampak sakit (gerakan tidak aktif) dan terdapat abnormalitas anatomi. Sampel dikatakan *drop out* jika tikus *wistar* mati pada saat perlakuan.

Variabel bebas penelitian ini adalah arus listrik bertingkat melalui medium air dan variabel tergantung penelitian ini adalah gambaran histopatologik otot jantung berupa jumlah hiperkontraksi otot ventrikel tikus *wistar*. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data primer hasil penelitian gambaran histopatologik otot jantung berupa hiperkontraksi ventrikel pada tikus *wistar* dari kelompok perlakuan yang dibandingkan dengan kontrol. Cara pengumpulan data penelitian ini adalah tikus *wistar* diadaptasi terlebih dahulu selama 7 hari serta diberi makan dan minum secukupnya. Sampel sebanyak 30 tikus *wistar* tersebut kemudian dibagi menjadi 5 kelompok secara acak, masing-masing terdiri dari 6 ekor tikus. Kelompok kontrol pada penelitian ini selanjutnya diberi label kontrol dan kelompok perlakuan diberi label kelompok V,VI,VII,VIII. Kelompok kontrol tidak diberi paparan arus listrik. Untuk kelompok perlakuan terlebih dahulu menempelkan konduktor listrik pada dinding wadah yang telah diisi air PDAM sebelumnya, kemudian tikus dimasukkan ke dalam wadah tersebut dengan posisi hanya ekstremitas yang tenggelam.

Kelompok V diberi paparan arus listrik 1-30mA, kelompok VI diberi paparan arus listrik 31-60mA, kelompok VII diberi paparan 61-90mA, kelompok VIII diberi paparan 91-120mA. Setelah diberi paparan arus listrik selama 60 detik, mematikan hewan coba yang belum mati dengan cara dekapitasi leher, membaringkannya terlentang dan dilakukan pembedahan untuk mengambil organ jantungnya. Bagian jantung yang diambil adalah ventrikel, kemudian dibuat preparat yang diproses dengan metode baku histologi, lalu dilakukan pemeriksaan mikroskopis. Setiap tikus dibuat dua preparat ventrikel dan tiap preparat dibaca pada keseluruhan lapangan pandang dengan perbesaran 400x.

Pengamatan dilakukan dengan melihat gambaran histopatologik yang tampak pada serat otot ventrikel yaitu berupa titik hiperkontraksi pada masing-masing kelompok kemudian dibandingkan dengan sampel kelompok kontrol yang tidak diberi paparan listrik dan selanjutnya dibandingkan antar kelompok eksperimental.

Data hasil penelitian diolah dengan program komputer SPSS 18.00. Perbedaan gambaran histopatologik berupa jumlah hiperkontraksi ventrikel tikus *wistar* dianalisis dengan uji statistic *one way anova* dilanjutkan dengan uji *Post Hoc*.

HASIL PENELITIAN

Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian adalah sebanyak 30 ekor tikus *Wistar*. Penentuan sampel untuk penelitian dilakukan secara *random*.

Tabel 1. Hasil perhitungan jumlah hiperkontraksi ventrikel

Kelompok	Rata-Rata Kelompok	Standar Deviasi
Kontrol	1,000	0,283
Kelompok V	3,700	0,434
Kelompok VI	6,167	0,599
Kelompok VII	4,967	0,388
Kelompok VIII	3,633	0,427

Tabel 1 menampilkan *mean* dan standar deviasi jumlah hiperkontraksi ventrikel pada setiap kelompok. *Mean* jumlah hiperkontraksi ventrikel pada kelompok VI (6,167) lebih tinggi dibandingkan kelompok lain, sedangkan *mean* paling rendah terdapat pada kelompok kontrol (1,000).

Uji kenormalan data dilakukan untuk mengetahui kondisi distribusi data hasil penelitian. Pada uji kenormalan data didapatkan data berdistribusi normal, maka pada analisis inferensial digunakan uji *one way anova*. Adapun hasil uji kenormalan data dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas

	Kelompok	Statistik	N	Sig. Nilai p
Jumlah hiperkontraksi ventrikel	Kontrol	0.982	6	0.960
	V	0.940	6	0.659
	VI	0.853	6	0.167
	VII	0.912	6	0.452
	VIII	0.892	6	0.331

Distribusi data diuji menggunakan uji *Saphiro-Wilk* dan didapatkan distribusi data normal dengan nilai signifikansi ($p > 0.05$) pada semua kelompok percobaan. Kemudian varians data diuji dengan menggunakan *Test of Homogeneity of Variances* dan didapatkan varians data sama dengan $p = 0.228$ ($p > 0.05$).

Tabel 3. *Test of One Way Anova*

	df	Mean square	F	Sig.
Between Groups	4	22.195	115.597	0.000
Within Groups	25	0.192		
Total	29			

Data penelitian kemudian diuji secara analitis dengan uji *one way Anova* karena didapatkan distribusi data normal dan varians data yang homogen. Pada uji *one way Anova* diperoleh nilai $p = 0.000$ ($p < 0.05$), yang artinya terdapat perbedaan yang bermakna.

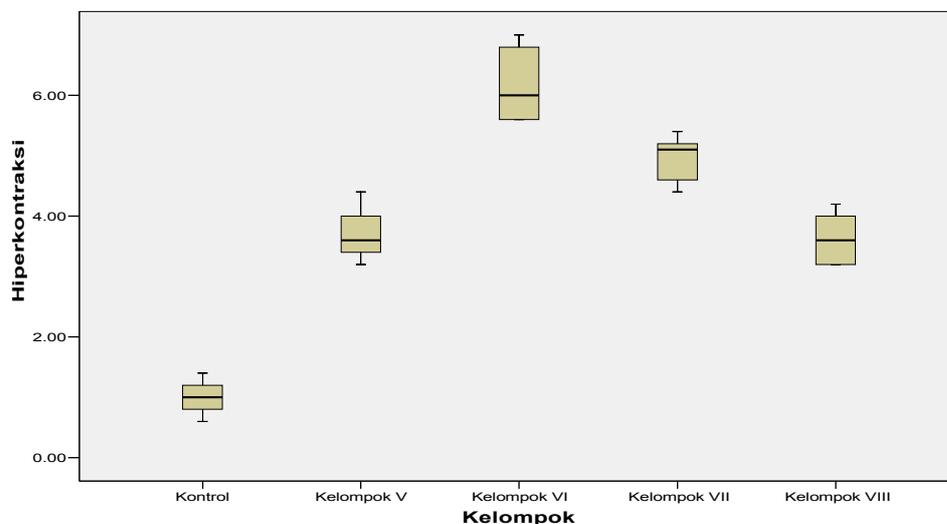
Analisis data diteruskan menggunakan uji *Post Hoc* untuk menilai perbedaan masing-masing kelompok dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil uji statistik perbandingan antar kelompok

Kelompok	Kontrol	V (I=1-30mA)	VI (I=31-60mA)	VII (I=61-90mA)	VIII (I=91-120mA)
Kontrol	-	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
V (I=1-30mA)	0.000*	-	0.000*	0.000*	0.999
VI (I=31-60mA)	0.000*	0.000*	-	0.001*	0.000*
VII (I=61-90mA)	0.000*	0.000*	0.001*	-	0.000*
VIII (I=91-120mA)	0.000*	0.999	0.000*	0.000*	-

*Hasil uji *Post Hoc* bermakna jika $p < 0.05$

Uji *post hoc*, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan yang bermakna antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan V ($p=0.000$), kontrol dengan kelompok perlakuan VI ($p=0.000$), kontrol dengan kelompok perlakuan VII ($p=0.000$), kontrol dengan kelompok perlakuan VIII ($p=0.000$), kelompok perlakuan V dengan kelompok perlakuan VI ($p=0.000$), kelompok perlakuan V dengan kelompok perlakuan VII ($p=0.000$), kelompok perlakuan VI dengan kelompok perlakuan VII ($p=0.001$), kelompok perlakuan VI dengan kelompok perlakuan VIII ($p=0.000$), kelompok perlakuan VII dengan kelompok perlakuan VIII ($p=0.000$) dan terdapat perbedaan tidak bermakna antara kelompok perlakuan V dengan kelompok perlakuan VIII ($p=0.999$).



Gambar. *Box plot* jumlah hiperkontraksi ventrikel

PEMBAHASAN

Luka bakar pada titik masuk arus listrik yang tampak pada pemeriksaan makroskopis biasa disebut dengan *cutaneous electrical mark*. Gambaran *cutaneous electrical mark* akan lebih jarang dan sulit ditemukan pada kasus sengatan listrik dalam air. *Cutaneous electrical mark* pada kejadian sengatan listrik di kamar mandi terkadang tidak dijumpai. Pada kejadian kematian akibat sengatan listrik di kamar mandi juga tidak ditemukan adanya luka bakar, dikarenakan pada keadaan basah resistensi kulit sedemikian rendah. Menyebabkan jumlah produksi panas tak cukup untuk meningkatkan suhu sampai titik lepuh sehingga tidak menimbulkan luka bakar spesifik pada kulit. Tetapi dapat terjadi kerusakan organ dalam sehingga mengakibatkan terjadinya kematian. Gambaran pucat yang terbentuk pada batas tubuh yang terendam air dan tidak terendam air dapat terjadi pada kasus kematian di *bathtub*, sehingga secara tidak langsung akan memberi petunjuk bagi dokter untuk menentukan penyebab kematian. Namun hal ini harus didukung dengan pasti telah terjadi peristiwa sengatan listrik atau ditemukan adanya peralatan listrik atau konduktor listrik di sekitar TKP. Oleh sebab itu diagnosis merupakan hasil kerjasama antara patologi forensik, toksikologi forensik, dan polisi penyelidik.^{2,7,8}

Jantung adalah organ yang paling rentan terpapar dalam kasus sengatan listrik. Sengatan listrik bisa menyebabkan bermacam-macam *cardiac dysrhythmias* seperti ventrikel asistol, fibrilasi ventrikel, sinus takikardi, dan blok denyut jantung. Biasanya kematian karena aritmia jantung menyebabkan fibrilasi ventrikel dan *cardiac arrest* (henti jantung).^{9,10}

Oleh karena tanda makroskopis tersebut tidak spesifik maka diperlukan bukti mikroskopis, salah satunya dari gambaran histopatologik otot jantung korban. Gambaran mikroskopis otot jantung korban sengatan listrik dapat ditemukan tidak adanya perubahan patologi sama sekali sampai dengan terjadi kerusakan yang sangat berat pada serat otot berupa plak infark, perdarahan, infiltrasi lemak dan edema. Fineschi (2006) melaporkan bahwa terjadi perubahan

serat otot jantung berupa teregang dan terputusnya diskus interkalatus dan terputusnya myofibril (MFB) sebanyak 90 % korban akibat sengatan listrik.¹¹

Penelitian ini dilakukan berdasarkan pertimbangan banyaknya penelitian yang meneliti efek paparan arus listrik baik secara langsung maupun melalui medium air, akan tetapi penulis belum pernah menemukan penelitian mengenai efek paparan arus listrik secara bertingkat melalui medium air terhadap gambaran histopatologik otot jantung berupa hiperkontraksi ventrikel secara mikroskopis pada tingkat hewan coba. Berdasar tujuan yang hendak dicapai, maka jenis penelitian yang telah dilakukan adalah penelitian eksperimental laboratorik dengan rancangan *post test only control group design*. Menggunakan lima kelompok, yaitu empat kelompok perlakuan dan satu kelompok kontrol. Penilaian dilakukan hanya pada saat *post test*, dengan membandingkan hasil observasi antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan dan antar kelompok perlakuan. Untuk menghindari bias, analisa hasil dilakukan dengan teknik *double blind*, di mana kedua pemeriksa tidak mengetahui tiap-tiap anggota kontrol dan perlakuan. Kemudian hasil ditulis dalam formulir untuk dianalisa lebih lanjut. Uji statistik terhadap gambaran histopatologi otot jantung berupa hiperkontraksi ventrikel menunjukkan adanya perbedaan efek terhadap jumlah hiperkontraksi ventrikel seiring dengan meningkatnya arus yang dipaparkan. Telah didapat hasil penelitian yang sesuai dengan harapan penulis.

Paparan arus listrik sebesar 1-30mA, 31-60mA, 61-90mA, 91-120mA selama 60 detik melalui medium air menunjukkan gambaran perubahan histopatologik berupa hiperkontraksi ventrikel yang bermakna dibandingkan dengan kelompok kontrol. Penyebabnya jantung mempunyai proses adaptasi ketika terdapat aliran listrik berlebih masuk ke tubuh dengan cara hiperkontraksi ventrikel yang merupakan suatu bentuk histopatologis dari jantung. Hal ini menunjukkan bahwa secara patologi organ, paparan arus listrik berlebih memiliki resiko kerusakan hingga mematikan terhadap jantung sehingga pada akhirnya dapat menyebabkan *cardiac arrest* (henti jantung).^{9,10} Berdasarkan Hukum Ohm, jika tegangan listrik meningkat dan atau tahanan jaringan tubuh menurun, terjadi peningkatan jumlah arus listrik yg melewati jaringan tubuh.¹³ Dalam hal ini yang

menyebabkan turunnya tahanan tubuh adalah air. Selain itu juga air mempercepat hantaran listrik ke tubuh.¹⁴ Arus listrik yang masuk ke dalam tubuh menjadi lebih besar dan cepat, sehingga memunculkan gambaran histopatologik otot jantung berupa hiperkontraksi ventrikel.

Terdapat fase puncak jumlah hiperkontraksi ventrikel pada kelompok perlakuan VI menunjukkan bahwa jantung hanya mampu melakukan adaptasi berupa hiperkontraksi ventrikel pada paparan arus listrik maksimal 60mA melalui medium air, selebihnya jika arus listrik semakin kuat, jantung tidak dapat lagi melakukan adaptasi, terjadi fibrilasi ventrikel, selain itu juga rangsangan listrik secara terus-menerus dapat menyebabkan tetani yang mana pada akhirnya terjadi *cardiac arrest* (henti jantung).¹⁵ Dengan demikian gambaran hiperkontraksi pada kelompok VII dan VIII tampak sedikit karena *cardiac arrest* cepat terjadi. Sehingga didapatkan tikus yang langsung mati pada kelompok perlakuan VII dan VIII.

Terdapat perubahan jumlah hiperkontraksi ventrikel yang tidak bermakna antara kelompok perlakuan V dan VIII. Hal ini disebabkan pada kelompok perlakuan VIII dipaparkan arus listrik yang tinggi masuk ke tubuh melalui medium air, dan hal itu diluar batas kemampuan jantung untuk melakukan adaptasi terhadap perubahan patologi tersebut, *cardiac arrest* lebih cepat terjadi, sehingga jumlah hiperkontraksi ventrikel yang terjadi berkurang dimana penurunan jumlah rerata hiperkontraksi antara kelompok VIII terdapat perbedaan yang tidak bermakna dengan kelompok V.

Kejadian kematian akibat paparan listrik melalui medium air yang terus meningkat, penulis menyarankan perlu ada penelitian lebih lanjut dengan variasi waktu dan variasi jumlah arus yang dipaparkan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah dan meningkatkan pengetahuan serta kewaspadaan masyarakat terhadap arus listrik khususnya melalui medium air dan atau dalam keadaan basah. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai data dasar untuk penelitian selanjutnya dalam lingkup lamanya waktu kematian sebagai akibat paparan listrik beringkat melalui medium air.

Perlu adanya penelitian lanjutan mengingat penelitian semacam ini masih jarang dilakukan dan eksplorasi lebih lanjut untuk mendapatkan gambaran histopatologik berupa ruptur dan nekrosis serat otot jantung dengan durasi penelitian yang lebih lama dan kuat arus yang lebih bervariasi, serta lapangan pandang yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT dan berterima kasih kepada dr. Neni Susilaningsih, MSi selaku ketua penguji, dr. Udadi Sadhana, MKes, Sp.PA selaku penguji dan konsultan dalam pembacaan preparat, staf bagian forensik, histologi dan patologi anatomi FK Undip yang telah membantu penulis sehingga tersusunlah artikel karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cushing TA, Wright RK. Electrical injuries. [homepage on the internet]. c2003 [cited 2009 Okt 11]. Available from:
<http://emedicine.medscape.com/article/770179-overview>
2. DiMaio VJM, DiMaio D. Forensic pathology. 2nd ed. Florida: CRC Press; 2001.
3. Daley BJ, Aycinena JF, Mallat AL. Electrical injuries. [homepage on the internet]. c2008 [cited 2009 Okt 11]. Available from:
<http://emedicine.medscape.com/article/433682-overview>

4. Goldman RD, Einarson A, Koren G. Electric shock during pregnancy. *Can fam physician* [serial on the internet]. 2003 [cited 2009 Okt 11]; 49(2):297-298. Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2214198>
 5. Bockhold B, Schneider V. Death by electrocution on bathtub. [homepage on the internet]. c2003 [cited 2009 Okt 11]. Available from:
<http://www.medline.ru/public/sudm/a2/art3-2-2.phtml>
 6. Dokov W. Characteristics of lethal electrical injuries in central and northeastern Bulgaria for a 27-Year Period (1980-2006). *Eplasty* [serial on the internet]. 2008 [cited 2009 Okt 11]; 8(2):101-105. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16078070>
 7. Cooper AM, Price TG. Electrical and lightning injuries. [homepage on the internet]. [cited 2009 Okt 11]. Available from:
<http://www.uic.edu/labs/lightninginjury/treatment.html>
 8. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical injuries: etiology, pathophysiology, and mechanism of injury. *Maced J Med S* [serial on the internet]. 2008 [cited 2009 Okt 24]; 1(2):54-58. Available from:
<http://www.mjms.ukim.edu.mk>
- 13
9. Forest FC, Saunders PR, McSwinney M, Tooley MA. Cardiac injury and electrocution. *J R Soc Med* [serial on the internet]. 1991 [cited 2009 Okt 24]; 85(10):642-643. Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1293702>
 10. Varol E, Ozaydin M, Altinbas A, Dogan A. Low-tension electrical injury as a cause of atrial fibrillation. *Tex Heart Inst J* [serial on the internet]. 2004 [cited 2009 Okt 24]; 31(2): 186-187. Available from:
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=427385>
 11. Fineschi V. Cardiac pathology in death from electrocution. *Int J Legal Med* [serial on the internet]. 2006 [cited 2009 Des 21]; 120(2):79-82. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16078070>

12. Putranto B.E. Patologi Saluran Napas. Semarang: Universitas Diponegoro, 1997.
13. Knight B, Forensic pathology.2nd ed. London: Arnold; 1996.
14. Gabriel JF. Fisika kedokteran. Cetakan ke 7. Jakarta: EGC; 1996.
15. Shepherd R. Simpson's forensic medicine. New York: Oxford University Press Inc; 2003.