



**PERBEDAAN EFEK VARIASI DOSIS PAPARAN ARUS LISTRIK SECARA LANGSUNG TERHADAP GAMBARAN HISTOPATOLOGIK OTOT *GASTROCNEMIUS POINT OF CONTACT* LISTRIK DENGAN OTOT *GASTROCNEMIUS* EKSTREMITAS KONTRALATERAL TIKUS *WISTAR***

*THE DIFFERENCE OF HISTOPATHOLOGIC PRESENTATION AFTER DIRECT ELECTRICAL INSULT BETWEEN GASTROCNEMIUS MUSCLE POINT OF CONTACT AND CONTRALATERAL LIMB ON WISTAR RATS*

**ARTIKEL KARYA TULIS ILMIAH**

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

**COKRONINGRUM DEWI W  
G2A 006 039**

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

**PERBEDAAN EFEK VARIASI DOSIS PAPARAN ARUS LISTRIK  
SECARA LANGSUNG TERHADAP GAMBARAN HISTOPATOLOGIK  
OTOT *GASTROCNEMIUS POINT OF CONTACT* LISTRIK DENGAN  
OTOT *GASTROCNEMIUS* EKSTREMITAS KONTRALATERAL TIKUS  
*WISTAR***

Cokroningrum Dewi W<sup>1</sup>, Hadi<sup>2</sup>, Gatot Suharto<sup>2</sup>  
**ABSTRAK**

**Latar belakang :** Sering terjadi kematian akibat listrik namun memiliki jejas yang minimal sehingga menyulitkan dalam mencari bukti yang tepat. Seringkali yang nampak pada kasus ini hanya kerusakan otot. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perbedaan efek variasi dosis paparan arus listrik secara langsung terhadap gambaran histopatologik otot *gastrocnemius point of contact* listrik dengan otot *gastrocnemius* ekstremitas kontralateral tikus *Wistar*.

**Metode :** 24 ekor tikus wistar diambil dengan *simple random sampling*. Sampel dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu: kelompok perlakuan yang diberi paparan arus listrik secara langsung yaitu berturut-turut (P1) 1-30 mA, (P2) 31-60 mA, (P3) 61-90 mA dan (P4) 91-120 mA. Tikus pada masing-masing kelompok diberi arus listrik secara langsung selama 60 detik, dilanjutkan dekapitasi, pengambilan sampel, pembuatan preparat histopatologi dan pemeriksaan jumlah hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius*. Analisis data dilakukan dengan uji *independent sample-T test*.

**Hasil :** Perbedaan bermakna rerata skor hiperkontraksi otot *gastrocnemius* ( $p < 0,05$ ). Rerata skor dan analisis hiperkontraksi P1, P2, P3 dan P4 otot *gastrocnemius* kiri depan dan kanan depan berturut-turut (110,17±55,45 dan 51,00±28,69 ( $p = 0,017$ ); 126,16±29,87 dan 97,67±36,62 ( $p = 0,183$ ); 207,33±74,99 dan 134,00±32 ( $p = 0,052$ ); dan 374,67±120,03 dan 217,50±68,54 ( $p = 0,019$ )). Terdapat perbedaan bermakna pada kelompok P1 ( $p = 0,017$ ), dan P4 ( $p = 0,019$ ).

**Simpulan :** Terdapat perbedaan efek variasi dosis paparan arus listrik secara langsung terhadap gambaran histopatologik otot *gastrocnemius point of contact* listrik dengan otot *gastrocnemius* ekstremitas kontralateral tikus *Wistar*.

**Kata kunci :** arus listrik, kontak langsung, otot *gastrocnemius*, hiperkontraksi, sengatan listrik

<sup>1</sup> Mahasiswa program pendidikan S-1 kedokteran umum FK Undip

<sup>2</sup> Staf pengajar Bagian Forensik Undip, Jl. Dr. Sutomo No. 18 Semarang

# THE DIFFERENCE OF HISTOPATOLOGIC PRESENTATION AFTER DIRECT ELECTRICAL INSULT BETWEEN GASTROCNEMIUS MUSCLE POINT OF CONTACT AND CONTRALATERAL LIMB ON WISTAR RATS

Cokroningrum Dewi W<sup>1</sup>, Hadi<sup>2</sup>, Gatot Suharto<sup>2</sup>

## ABSTRACT

**Background:** Electrocutation sometimes had no specific mark. This phenomenon caused difficulties in looking for the correct evidences of human deaths by electrical current. Electrocutation tend to had only muscle damage. Direct electrical insult often made hipercontraction in muscles. This study was aimed to prove the differences of histopatologic presentation after direct electrical insult between gastrocnemius muscles point of contact and contralateral limb on wistar rats.

**Methods:** 24 rats divided into 4 groups with simple random sampling. The four test groups got the electrical insult ((P1) 1 – 30 mA, (P2) 31 – 60 mA, (P3) 61 – 90 mA and (P4) 91 – 120 mA). The electrocutation was done in 60 seconds then decapitation, sample collection and making specimens were performed and counted the hipercontraction afterward. Statistical analysist was conducted by using the independent sample-T test..

**Result:** The difference was significant if  $p < 0,05$ . These were the mean scores of every left and right limbs of the groups (110,17±55,45 and 51,00±28,69 ( $p=0,017$ ); 126,16±29,87 and 97,67±36,62 ( $p=0,183$ ); 207,33±74,99 and 134,00±32 ( $p=0,052$ ); and 374,67±120,03 and 217,50±68,54 ( $p= 0,019$ ) respectively). Due to analysist of the mean score there were two significant differences between point of contact and contralateral limb on P1 ( $p = 0,017$ ), and P4 ( $p = 0,019$ ).

**Conclusion:** There is different effect on histopatologic presentation after direct electrical insult between gastrocnemius muscle point of contact and contralateral limb on Wistar rats.

**Keywords:** electrical current, direct insult, gastrocnemius muscle, hypercontraction, electrocutation.

<sup>1</sup> Undergraduate Student of Medical Faculty Diponegoro University Semarang

<sup>2</sup> Lecturer of Forensic Department Diponegoro University Semarang

## PENDAHULUAN

Instalasi Forensik Rumah Sakit Dokter Kariadi (RSDK) Semarang dalam rentang waktu tahun 2005 sampai 2009 mencatat adanya 15 kasus kematian karena sengatan arus listrik.<sup>1</sup> Instalasi Rekam Medis RSDK dalam rentang waktu tahun 2002 sampai 2009 mencatat terjadinya peningkatan jumlah pasien rawat inap dengan sebab rawat tersengat arus listrik pada 4 tahun pertama sebanyak 41 pasien dan 4 tahun terakhir sebanyak 52 pasien.<sup>2</sup> Penelitian Laupland et al 2002 menyebutkan bahwa penyebab kematian terbesar akibat sengatan arus listrik adalah karena trauma berat, yang pada kasus ini berupa luka bakar yang luas.<sup>3</sup>

Trauma akibat sengatan arus listrik adalah kerusakan yang disebabkan oleh adanya aliran listrik yang melewati tubuh manusia dan membakar jaringan atau menyebabkan terganggunya suatu fungsi dari organ. Ada beberapa mekanisme yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sel akibat sengatan listrik yaitu truma langsung, elektroforesis, tetani otot, panas dan trauma mekanik.<sup>4</sup>

Penghantaran arus listrik dalam suatu konduktor dipengaruhi oleh kuat arus, tegangan listrik, hambatan atau tahanan dan waktu, serta daya hantar konduktor itu sendiri. Tubuh manusia pada dasarnya juga merupakan suatu konduktor sebab tubuh manusia dapat menghantarkan arus listrik. Proses terjadinya aliran listrik pada tubuh manusia adalah ketika ada suatu kontak tubuh dengan suatu sumber listrik lalu secara simultan menyentuh tempat lain yang memiliki perbedaan potensial dengan sumber listrik tersebut maka arus listrik akan mengalir dengan cara masuk melalui kontak pertama (*point of contact*) kemudian mengalir melalui sel-sel dalam tubuh dan keluar melalui kontak terakhir (*point of grounded*), jalur yang dilalui oleh arus listrik ini disebut *electrical pathway*.<sup>5</sup> Adanya kontak dan penghantaran listrik melewati tubuh menimbulkan jejas kontak listrik pada tubuh berupa jejas listrik masuk dan keluar. Duff dan McCaffrey (2001) menyebutkan bahwa jalur yang sering dilewati arus listrik adalah melalui tangan ke tangan, tangan ke kaki, dan kepala ke kaki.<sup>6</sup>

Beberapa jaringan tubuh sangat sensitif terhadap rangsangan listrik karena jaringan ini secara normal menggunakan sinyal bioelektrik.<sup>7</sup> Sel otot jantung dan sel otot perifer menggunakan sinyal bioelektrik untuk memicu terjadinya

kontraksi. Sel – sel ini sering disebut sebagai *electrically excitable cells*.<sup>7</sup> Lee et al (2000) mengatakan bahwa apabila arus listrik masuk dari sebelah kiri bagian tubuh lebih berbahaya daripada masuk dari sebelah kanan.<sup>9</sup> Tubuh yang terkena pajanan listrik arus listrik dan jangka waktu lama kerusakan jaringan bisa disebabkan karena pemanasan atau pembakaran jaringan. Pemanasan jaringan dan fatalitas kerusakan jaringan karena pajanan arus listrik dipengaruhi oleh total energi yang dihantarkan oleh jaringan dan dipengaruhi oleh besar kuat arus, tegangan, waktu pajanan, dan hambatan serta karakteristik jaringan dan jalur yang dilewati oleh arus listrik.<sup>5,7,8,9</sup>

Kasus trauma akibat sengatan listrik tidak sedikit yang akhirnya melibatkan pengadilan. Diagnosis kematian karena sengatan listrik dalam hukum positif di Indonesia haruslah berdasarkan bukti yang ada dan bukan berdasarkan penyingkiran kemungkinan sebab-sebab lain. Para ahli mengalami kesulitan dalam hal memilih sampel jaringan yang tepat untuk membuktikan telah terjadi sengatan listrik pada korban terutama apabila sengatan listrik tersebut tidak menimbulkan luka yang khas ataupun hanya luka minimal, sehingga diagnosis pasti baru dapat jelas dipastikan apabila terdapat luka bakar khas listrik dan adanya riwayat kontak dengan sumber listrik sebelum kematian terjadi. Penelitian oleh LUO et al (2009) menyebutkan bahwa tanda khas terbakar listrik yang telah dikonfirmasi dengan pemeriksaan histologi saat ini merupakan tanda yang sangat penting dengan tambahan diagnosis dari penemuan kelainan patologis organ lain.<sup>10</sup> Dzhokic et al (2008) menyebutkan bahwa ada tiga mekanisme utama terjadinya jejas pada tubuh karena sengatan listrik yaitu kerusakan langsung yang terjadi pada jaringan, efek panas dari listrik dan adanya peristiwa mekanis atau fisik yang menyertainya.<sup>11</sup>

Ekstremitas sebagai salah satu anggota tubuh yang penting dan sering digunakan dalam aktivitas merupakan organ yang sering kontak dengan sumber listrik dan relatif tidak terlindung, hal tersebut menjadikan ekstremitas sebagai jalan masuk arus listrik (*point of contact*). Bagian Ekstremitas yang paling dekat dengan tempat masuk arus listrik (*point of contact*) dan yang paling dekat dengan tempat keluar arus listrik setelah melalui tubuh (*point of grounded*) adalah otot

pada bagian distal dari ekstremitas. Otot *Gastrocnemius* merupakan bagian tubuh yang merupakan *excitable cell* sehingga sangat mudah dipengaruhi oleh impuls listrik, otot ini juga merupakan otot dengan volume yang besar dan terletak paling dekat dengan tempat yang sering menjadi *point of contact* dan *point of grounded* listrik.

Smith et al (1965) dalam penelitiannya dengan pemberian arus listrik tidak mematikan (*non lethal dose*) pada otot ekstremitas belakang anjing dan pengolahan sampel otot dilakukan tujuh hari setelah sengatan arus listrik menunjukkan bahwa kerusakan otot ekstremitas karena trauma sengatan listrik memiliki gambaran histopatologi yang spesifik dimulai dengan proliferasi sarkolema otot sebagai gambaran kerusakan awal sampai terjadinya nekrosis otot yang difus dan terjadinya hiperkontraksi otot yang khas pada paparan arus listrik bolak-balik. Hal ini menyebabkan gambaran histopatologik dari otot ekstremitas sangat penting dalam membantu diagnosis trauma sengatan listrik.<sup>7</sup>

Penelitian tentang efek paparan arus listrik dengan dosis lethal dan prelethal terhadap gambaran histopatologik belum pernah dilakukan. Penelitian pendahuluan yang telah dilakukan dengan pemberian dosis lethal arus listrik pada tikus *Wistar* tidak didapatkan adanya gambaran nekrosis sel otot, namun hanya didapatkan adanya gambaran hiperkontraksi serabut otot, sehingga pada penelitian selanjutnya yang akan saya lakukan; bentuk gambaran histopatologik otot akan difokuskan pada pengamatan adanya hiperkontraksi serabut otot. Penelitian tentang perbedaan efek paparan arus listrik pada jaringan yang dilalui arus listrik (sesuai *electrical pathway*) dan yang bukan *electrical pathway* belum pernah dilakukan. Derajat kerusakan akibat sengatan listrik dari masing-masing jaringan berbeda, sehingga penulis akan mengadakan penelitian eksperimental untuk membedakan efek sengatan arus listrik secara langsung dari otot *gastrocnemius* pada ekstremitas yang menjadi tempat masuk listrik (*point of contact*) dengan otot *gastrocnemius* pada ekstremitas kontralateralnya.

Percobaan eksperimental untuk hal tersebut di atas secara etik pada manusia tidak memungkinkan, maka penelitian ini dilakukan pada hewan coba yaitu tikus *Wistar*. Hal tersebut disebabkan tikus *Wistar* memiliki karakteristik yang mirip

dengan manusia sehingga sering digunakan dalam eksperimen biologi sebagai organisme model.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini meliputi bidang Forensik, Patologi Anatomi, dan Fisika. Penelitian dilakukan dalam selang waktu Maret-Mei 2010 di laboratorium Teknik Elektro FT UNDIP, laboratorium Patologi Anatomi FK UNDIP, laboratorium Biologi UNNES.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik dengan desain penelitian *post test only group* menggunakan tikus *Wistar* jantan sehat dengan berat badan 150-200 gram sebagai obyek penelitian. Perlakuan dalam penelitian ini adalah pemberian arus listrik bertingkat pada tikus *Wistar* secara langsung. Hasil (*outcome*) yang dinilai adalah gambaran histopatologik otot yang berupa jumlah hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* tikus *Wistar*.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah besar arus listrik bolak balik (AC). Pengukuran besar arus listrik AC menggunakan alat Amperemeter dengan satuan mili-Ampere dalam skala ordinal. Variabel tergantung dalam penelitian ini adalah gambaran histopatologik berupa jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius* tikus *Wistar*. Penghitungan jumlah hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* tikus *Wistar* dengan menggunakan mikroskop cahaya dalam skala interval.

Penelitian ini menggunakan 6 sampel untuk tiap kelompok. Terdapat 4 kelompok perlakuan, sehingga jumlah sampel yang dibutuhkan adalah 24 sampel. Adaptasi 24 ekor tikus *Wistar* jantan selama 7 hari di laboratorium dengan kandang tunggal dan diberi pakan standar serta minum secukupnya. Pada hari kedelapan, membagi tikus *Wistar* menjadi 4 kelompok yang masing-masing terdiri dari 6 ekor tikus *Wistar* yang dipilih secara acak. Setiap kelompok diberi tanda dengan asam pikrat pada daerah yang berbeda yaitu kepala, punggung, ekor, dan kaki. Memberikan paparan arus listrik secara langsung dengan menjepitkan konduktor ke ekstremitas kiri depan (*point of contact*) dan kanan depan (kontralateral) tikus *Wistar* selama 60 detik pada kelompok perlakuan 1, 2, 3, dan 4. Kelompok perlakuan 1 mendapatkan paparan arus listrik 1-30 mA, kelompok

perlakuan 2 mendapatkan paparan arus listrik 31-60 mA, kelompok perlakuan 3 mendapatkan paparan arus listrik 61-90 mA, dan kelompok perlakuan 4 mendapatkan paparan arus listrik 91-120 mA. Mendekapitasi hewan coba yang belum mati. Memisahkan otot dari lapisan kulit, fasia, dan jaringan subkutan di atasnya, kemudian mengambil otot *gastrocnemius*. Sampel otot tersebut dimasukkan pada tabung berisi cairan pengawet bufer formalin 10%. Mengolah sampel otot *gastrocnemius* tikus *Wistar* mengikuti metode baku histologi dengan pewarnaan *Hematoxylin-Eosin*. Setiap sampel otot dibuat preparat dengan potongan *longitudinal* (memanjang). Preparat tersebut dibaca oleh seorang dokter spesialis patologi anatomi dan peneliti. Pembacaan preparat dalam lima lapangan pandang dengan perbesaran 400x. Sasaran yang dibaca adalah jumlah hiperkontraksi serabut otot sebagai gambaran histopatologik otot *gastrocnemius*. Data pemeriksaan dicatat dalam formulir untuk kemudian dianalisis. Analisis data dilakukan dengan SPSS *for windows* dengan uji hipotesis menggunakan *independent sample-T test*.

## HASIL PENELITIAN

Hasil pengamatan gambaran histopatologik berupa jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius point of contact* listrik (kiri depan) dengan otot *gastrocnemius* ekstremitas kontralateral (kanan depan) tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius*

kelompok perlakuan	jenis extremitas	mean	min	max	SD
kelompok 1 (1 – 30 mA)	kiri depan	110,17	70	220	55,449
	kanan depan	51,00	20	98	28,698
kelompok 2 (31 – 60 mA)	kiri depan	126,17	76	158	29,869
	kanan depan	97,67	38	146	36,619
kelompok 3 (61 – 90 mA)	kiri depan	207,33	110	298	74,992
	kanan depan	134,00	82	171	32,000
kelompok 4 (91 – 120 mA)	kiri depan	374,67	246	521	120,038
	kanan depan	217,50	118	298	68,538

Perbandingan hasil analisis statistik rerata jumlah hiperkontraksi antara ekstremitas *point of contact* listrik (kiri depan) dengan ekstremitas kontralateral



(kanan depan) dengan uji hipotesis *independent sample t-test* ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 2. Perbandingan rerata jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius*

	P1 (1-30mA)	P2 (31-60mA)	P3 (61-90mA)	P4 (91-120mA)
<i>p</i>	0,017*	0,183	0,052	0,019*

Terdapat perbedaan bermakna  $p < 0,05$  (\*)

Tabel 2 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan bermakna ( $p > 0,05$ ) pada kelompok perlakuan P2 (pemberian arus listrik secara langsung sebesar 31 – 60 mA) dan P3 (pemberian arus listrik secara langsung sebesar 61 – 90 mA) dan terdapat perbedaan bermakna ( $p < 0,05$ ) pada kelompok-kelompok P1 (pemberian arus listrik secara langsung sebesar 1-30mA) dan P4 (pemberian arus listrik secara langsung sebesar 91-120mA).

## PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada analisis rerata jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius* ekstremitas *point of contact* listrik (kiri depan) dan kontralateral (kanan depan) terdapat perbedaan bermakna pada pemberian arus 1 – 30 mA, hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa pemberian arus listrik frekuensi rendah pada sirkuit dengan tipe gelombang AC (*Alternating Current*) otot distimulasi untuk berkontraksi sebanyak 40-110 kali perdetik. Hal inilah yang dapat menyebabkan pegangan tangan pada sumber listrik seringkali tidak dapat dilepas, akibat adanya kekuatan otot fleksor yang lebih kuat dari otot ekstensor.<sup>12,13</sup> Percobaan pada kelompok perlakuan ini membuktikan adanya batasan tertentu dimana hanya ada persepsi rasa geli yang masih dapat diterima atau ditolelir oleh tubuh karena belum melewati ambang sensasi nyeri namun sudah dapat menyebabkan perubahan pada otot yang dilewati.<sup>14</sup>

Penelitian yang dilakukan pada kelompok dengan paparan arus listrik 91 – 120 mA juga menunjukkan adanya perbedaan rerata jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius* pada ekstremitas *point of contact* listrik (kiri depan) dan ekstremitas kontralateral (kanan depan) yang bermakna.

Efek sengatan listrik dapat menimbulkan efek spasme pada otot skelet jika besar arus mencapai 10 dan 40 mA pada frekuensi 50 siklus perdetik. Spasme ini terjadi seringkali titik masuk arus di tangan, kekuatan otot fleksor tangan menjadi kaku. Hal inilah yang menyebabkan benda apapun yang menyentuh tangan akan digenggam erat (*hold on effect*) sehingga semakin parah efeknya.<sup>15</sup>

Pemeriksaan jaringan otot rangka pada kasus kematian akibat sengatan listrik juga ditemukan kontraksi serat otot dan pematatan pita Z. Tanda khas yang menunjukkan trauma listrik yang patologis adalah pita otot yang terlihat keriput seperti kulit kayu. Adanya gambaran mikroskopis tersebut erat kaitannya dengan hubungan antara topografi jaringan dengan jalur arus.<sup>12,13</sup>

Jaringan otot yang terpapar arus listrik dapat mengalami kerusakan yang bersifat *reversible* dan *irreversible*. Kerusakan yang terjadi dapat disebabkan mekanisme pemanasan oleh listrik, terjadinya hiperkontraksi otot maupun ruptur serabut otot. Semakin besar energi listrik yang memasuki tubuh maka akan semakin besar pula kerusakan yang terjadi sehingga semakin besar arus listrik yang masuk akan semakin besar pula kerusakan yang disebabkan. Kerusakan yang terjadi pada tubuh ini sebanding dengan peningkatan energi yang memasuki tubuh yang juga ditentukan oleh besar arus listrik, tegangan listrik, hambatan jenis dari organ tubuh, lama kontak dan luas daerah kontak listrik.<sup>5-9</sup>

Hasil penelitian pada kelompok perlakuan dengan paparan arus sebesar 31 – 60 mA dan kelompok perlakuan dengan paparan arus sebesar 61 – 90 mA menunjukkan bahwa pada analisis rerata jumlah hiperkontraksi ekstremitas kiri depan dan kanan depan tidak terdapat adanya perbedaan yang bermakna meskipun dari jumlah hiperkontraksi yang didapat menunjukkan adanya perbedaan nilai dimana pada ekstremitas kiri depan lebih besar daripada ekstremitas kanan depan. Peneliti mengamati bahwa tikus mencoba melepaskan diri dari kontak dengan konduktor. Hal ini tentunya bertolak belakang dengan teori *let go current* pada manusia yang mengatakan bahwa manusia secara sadar dapat melepaskan diri dari kontak dengan listrik pada arus kurang dari 17 mA.<sup>14,16</sup>

Peneliti membuktikan bahwa pada dosis-dosis *prelethal*, tikus wistar berusaha melepaskan anggota gerakanya dari sumber sengatan listrik, sehingga

arus listrik masuk melalui semua ekstremitas. Hal ini menyulitkan pembuktian jejas pada ekstremitas *point of contact* listrik dengan ekstremitas lainnya. Jejas sengatan listrik pada tubuh korban tergantung dari jalur yang dilewati arus listrik, khususnya tempat listrik masuk dan keluar mengingat pada tempat tersebut ditemukan kepadatan tertinggi arus listrik.<sup>9,17</sup>

Penelitian ini mendapatkan suatu kesimpulan bahwa terdapat perbedaan efek variasi dosis paparan arus listrik secara langsung terhadap gambaran histopatologik berupa jumlah hiperkontraksi otot *gastrocnemius* ekstremitas *point of contact* listrik dengan otot *gastrocnemius* ekstremitas kontralateral tikus *Wistar*.

## **SARAN**

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membuktikan derajat kerusakan organ tubuh akibat sengatan listrik dengan durasi kontak yang berbeda-beda. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis batas *let go current* dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan trima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan kemudahan yang diberikanNya.
2. Bapak Suhirto dan Ibunda Suparmi tercinta serta seluruh keluarga atas semangat dan dukungannya selama ini.
3. Dr. Arfi Syamsun, Sp.KF, sebagai pembimbing karya tulis ilmiah yang telah membimbing peneliti dengan penuh kesabaran, arif dan bijaksana.
4. Dr. Udadi Sadhana, Mkes, SpPA selaku konsultan pembacaan preparat.
5. Dr. Neni Susilaningih, MSi yang telah membantu dan memberikan masukan dalam pembuatan karya tulis ilmiah ini.
6. Seluruh staf Bagian Ilmu Kedokteran Forensik FK UNDIP.
7. Seluruh staf Bagian Ilmu Patologi Anatomi FK UNDIP.
8. Asisten laboratorium Biologi F-MIPA UNNES yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

9. Pak Karnoto, MT dan Tim Laboratorium Teknik Elektro UNDIP yang telah membantu penelitian eksperimental sengatan listrik.
10. Serta teman-teman satu tim dan semua pihak yang telah mendukung dan memberikan bantuan dalam menyelesaikan karya tulis ilmiah ini dari awal hingga akhir.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Rekap Visum et Repertum. Instalasi Forensik. Semarang. Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Kariadi; 2005 – Juni 2009.
2. Indeks Rekam Medis. Semarang. Instalasi Rekam Medis Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Kariadi; 2002 – Juni 2009.
3. Laupland KB, Kortbeek JB, Findlay C, Kirkpatrick AW, Hameed SM. Population-based study of severe trauma due to electrocution in the Calgary Health Region, 1996–2002. Calgary. *Can J Surg*;48,(4);289-92.
4. Knight B. Forensic pathology. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: Arnold; 1996: 319-32.
5. Bikson M. A review of hazards associated with exposure to low voltages. [home page on the internet]. C2008 [cited 2009 Sep 6] Available from: <http://bme.cuny.cuny.edu/faculty/mbikson/BiksonMSafeVoltageReview.pdf>
6. Duff K, McCaffrey RJ. Electrical injury and lightning injury: a review of their mechanisms and neuropsychological, psychiatric, and neurological sequelae. *Neuropsychology Review* 2001;11: 101-16.
7. Smith GT, Beeuwkes R, Tomkmewicz ZM, Abe T, Lown B. Pathological changes in skin and skeletal muscle following alternating current and capacitor discharge. *Am J Physiol* 1965;47: 1-17.
8. Daley BJ. Electrical injuries. [serial on the internet]. 2008 [cited 2009 Jan 16]. Available from : <http://www.emedicine.com/med/topic2810.htm>
9. Lee RC, Zhang D, Hannig J. Biophysical injury mechanisms in electrical shock trauma. *Annu Rev Biomed Eng* 2000; 02: 477-509.
10. Luo BT, Zhao YH, Chen XY, Jiang HG. Pathology of accidental electrocution: an autopsy study of 16 cases. [serial on the internet]; 2009 [cited 2009 Dec 24]. Available from:

[http://www.library.nhs.uk/booksandjournals/details.aspx?  
t=\\*electrocution&stfo=True&sc=bnj.ovi.amed,bnj.ovi.bnia,publicationdate  
&sfld=fld.title&sr=bnj.pub&did=19781343&pc=32&id=9](http://www.library.nhs.uk/booksandjournals/details.aspx?t=*electrocution&stfo=True&sc=bnj.ovi.amed,bnj.ovi.bnia,publicationdate&sfld=fld.title&sr=bnj.pub&did=19781343&pc=32&id=9)

11. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical Injuries: etiology, pathophysiology and mechanism. *Maced J Med Sci.* 2008; 1(2):54-8.
12. Bagian kedokteran Forensik Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Ilmu kedokteran forensik. Jakarta:FKUI; 1997: 50.
13. Gray Jr. LE, Wilson V, Noriega N, Noriega C, Lambright C, Furr J, et al. Use the Laboratory Rat as a Model in Endocrine Disrupt or Screening and Testing. [home page on the internet]. 2004 [cited 2009 Jan 14]. Available from: [http://dels.nas.edu/ilar\\_n/ilarjournal/45\\_4/pdfs/v4504gray.pdf](http://dels.nas.edu/ilar_n/ilarjournal/45_4/pdfs/v4504gray.pdf)
14. Gabriel JF. Fisika kedokteran. 9th ed. Jakarta: EGC; 2002:201-75.
15. Casini V. Overview of electrical hazards [serial on the internet]. 2006 [cited 2008 Nov 26]; Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/elecovrv.html>
16. Di Maio VJM, Dimaio D. Forensik pathology. 2nd ed. London: CRC Press; 2001:200-8.
17. Martinez JA, Nguyen T. Electrical injuries. *Southern Medical Journal* 2000;93:1165-8.