

Efek Paparan Arus Listrik terhadap Peningkatan Biomarker dan Kelainan Irama Jantung

Dian Octaviani¹, Anggraeni Janar Wulan²

¹Mahasiswa, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

²Bagian Anatomi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

Abstrak

Pasien yang mengalami cedera sengatan listrik biasanya laki-laki dan masih muda. Distribusi usia pasien yang terkena sengatan listrik dibagi dalam tiga kelompok yaitu balita, remaja dan dewasa. Tubuh manusia akan menghantarkan listrik jika tubuh membuat kontak dengan permukaan sumber energi listrik sekaligus mengalami kontak dengan permukaan lain yang memiliki potensial berbeda. Cedera listrik memiliki angka kematian dan morbiditas yang tinggi. Cedera listrik merupakan cedera multisistem. Jantung adalah salah satu organ yang paling rentan terhadap cedera listrik, dan pembuluh adalah konduktor terbaik untuk arus listrik. Paparan terhadap arus listrik menyebabkan cedera sampai tingkat seluler melalui mekanisme elektroporasi, konversi energi listrik menjadi energi panas yang akan menyebabkan destruksi jaringan dan nekrosis koagulasi, dan spasme serta hipoperfusi koroner. Kelainan irama jantung dapat terjadi akibat hipoksia jaringan dan ketidakseimbangan Na-K adenosin trifosfatase serta peningkatan permeabilitas membran miosit sehingga terjadi gangguan konduksi yang bermanifestasi sebagai aritmia yang berakibat fatal (asistol, fibrilasi ventrikel). Paparan arus listrik juga menyebabkan nekrosis otot jantung dimana terjadi ruptur membran sel yang ditandai dengan pelepasan protein intraseluler ke ruang interstitial dan sirkulasi. Protein-protein yang dilepaskan seperti *aspartate aminotransferase* (AST), *creatin phosphokinase* (CPK), *creatin kinase* (CK), *creatin kinase isoenzyme MB* (CK-MB), *myosin light chain* (MLC), dan *cardiac troponin I dan T* (cTnI dan cTnT). Pada cedera otot jantung terjadi peningkatan spesifik pada kadar biomarker serum cTnI.

Kata kunci: biomarker jantung, cedera listrik, disritmia

The Effect of Electrical Current Exposure to The Elevation of Cardiac Biomarker Serum Level and Dysrhythmia

Abstract

Patients who experience an electric shock injury is usually male and young. The age distribution of patients affected by electric shock were divided into three groups: toddlers, adolescents and adults. The human body will conduct electricity if the body makes contact with the surface of the electrical energy source at the same time in contact with other surfaces that have different potential. Electrical injuries have high mortality and morbidity. Electrical injury is a multisystem injuries. The heart is the most vulnerable to electrical injury, and the vessel is the best conductor of electric current. Exposure to electric current cause injury to the cellular level through the mechanism of electroporation, the conversion of electrical energy into heat energy which will cause tissue destruction and coagulation necrosis, and coronary spasm, and hypoperfusion. Heart rhythm abnormalities can occur as a result of tissue hypoxia and imbalance of Na-K adenosine triphosphatase as well as increased permeability myocyte membrane resulting in conduction disorder that manifests as a fatal arrhythmia (asystole, ventricular fibrillation). Exposure to electrical currents also cause necrosis of the heart muscle which will rupture the cell membrane that is characterized by the release of intracellular proteins into the interstitial space and circulation. The proteins that are released as *aspartate aminotransferase* (AST), *creatin phosphokinase* (CPK), *creatin kinase* (CK), *creatin kinase isoenzyme MB* (CK-MB), *myosin light chain* (MLC), and *cardiac troponin I and T* (cTnI and cTnT). At the heart muscle injuries occur specific increase in serum biomarker levels of cTnI.

Keywords: cardiac biomarker, dysrhythmia, electric injury

Korespondensi: Dian Octaviani, alamat Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro No. 1, HP 082281890877, e-maildian.ocvia@gmail.com

Pendahuluan

Listrik merupakan suatu bagian integral dari kehidupan masyarakat moder. Ketiadaan listrik tampaknya akan membuat kehidupan manusia menjadi sulit, tetapi listrik memiliki kapasitas untuk menyebabkan kecelakaan yang berakibat fatal. Kecelakaan yang paling banyak menyebabkan kematian diakibatkan oleh

sengatan listrik, baik tegangan rendah maupun tegangan tinggi.¹ Cedera sengatan listrik berhubungan dengan morbiditas dan mortalitas yang tinggi.²

Meskipun berbagai perbaikan yang signifikan telah dilakukan dalam menjamin keamanan produk, cedera sengatan listrik masih menjadipenyebab banyak kematian dan

morbiditas yang cukup tinggi. Angka kematian akibat sengatan listrik sekitar 500 kematian per tahun di Amerika Serikat. Lebih dari setengahnya terjadi di tempat kerja dan menjadi penyebab utama keempat kematian yang berhubungan dengan pekerjaan. Cedera listrik juga penyebab morbiditas yang cukup besar. Kejadian luka bakar akibat sengatan listrik terhitung sekitar 2-3% dari semua luka bakar pada anak-anak yang memerlukan perawatan gawat darurat.³

Cedera sengatan listrik cenderung terjadi pada pasien dalam tiga kelompok usia yang berbeda. Kelompok pertama yang terkena adalah balita, disusul oleh remaja, dan kelompok ketiga terdiri dari orang dewasa. Anak-anak cenderung untuk mengalami cedera sengatan listrik dari sumber listrik bertegangan rendah, seperti peralatan rumah tangga karena ruang gerak yang terbatas. Selama masa remaja, eksplorasi lebih aktif terhadap lingkungan menyebabkan cedera tegangan tinggi yang bersat bahkan sampai kematian.^{4,5}

Sebagian besar kematian pada orang dewasa yang terkait dengan pekerjaan terjadi akibat sengatan listrik. Jantung adalah salah satu organ yang paling rentan terhadap cedera sengatan listrik. Paparan dengan arus listrik dapat menyebabkan kelainan seperti kerusakan struktural, aritmia, dan gangguan konduksi.⁶ Diagnosis cedera miokardium cukup sulit ditegakkan dibuktikan dengan tidak adanya gejala yang khas, seperti perubahan EKG yang kurang spesifik, dan hasil *scan* pirofosfat miokardium yang normal. Namun terdapat peningkatan kadar biomarker jantung seperti CK-MB yang dapat membantu penegakkan diagnosis.⁷

Isi

Arus listrik adalah aliran elektron (partikel atom bermuatan negatif) melalui suatu konduktor. Sebuah benda yang mengumpulkan elektron menjadi bermuatan negatif, dan ketika elektron mengalir dari benda ini melalui konduktor, maka tercipta arus listrik, yang diukur dalam ampere (A). Kekuatannya yang menyebabkan elektron dapat mengalir adalah tegangan, dan diukur dalam volt (V). Apa pun yang menghambat aliran elektron melalui konduktor menciptakan resistensi, yang diukur dalam ohm (Ω).⁷

Cedera listrik akan terjadi ketika seseorang mengalami kontak dengan arus yang dihasilkan oleh sumber listrik. Sumber listrik dapat dari buatan manusia, misalnya saluran listrik dari perusahaan utilitas, atau dari alam, seperti petir.⁷

Electric shock didefinisikan sebagai suatu respon fisiologis yang terjadi saat aliran arus listrik melalui setiap bagian dari tubuh seseorang. *Electrocution* adalah kematian yang disebabkan oleh sengatan listrik.⁸ Ada 4 penyebab kematian akibat sengatan listrik: (1) efek langsung saat jaringan tubuh terpapar arus menyebabkan terjadi asistol, fibrilasi ventrikel, ataupun apnea, (2) cedera tumpul akibat terlontar setelah tersambar petir, (3) konversi energi listrik menjadi energi panas yang mengakibatkan luka bakar, dan (4). elektroporasi, didefinisikan sebagai penciptaan pori-pori di membran sel oleh arus listrik. Tidak seperti luka bakar, yang menyebabkan kerusakan jaringan oleh denaturasi protein dan koagulasi, elektroporasi mengganggu membran sel dan menyebabkan kematian sel tanpa pemanasan klinis yang signifikan.⁷

Cedera listrik melibatkan dua mekanisme, langsung dan tidak langsung. Arus listrik dapat secara langsung menyebabkan kerusakan jaringan dengan mengubah potensial membran yang dapat berakhir dengan kontraksi otot berlebihan, dan terjadi konversi dari energi listrik menjadi energi panas yang akan menyebabkan destruksi jaringan masif dan nekrosis koagulasi. Mekanisme cedera tidak langsung cenderung didapat dari hasil dari akibat terlempar setelah tersengat listrik dari sumbernya.^{3,8}

Secara umum beratnya cedera yang diakibatkan arus listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut. (1) Jenis arus, dapat berupa arus searah (DC) atau arus bolak-balik. Arus searah (DC) adalah arus yang mengalir dalam satu arah saja, contohnya adalah baterai, sel surya, dinamo, dan lain-lain. Arus bolak-balik (AC) adalah arus yang mengalir bolak-balik (siklus) melalui konduktor. Kontak tegangan tinggi dengan arus searah (DC) cenderung menyebabkan kejang otot tunggal dan sering melempar korban dari sumber listrik. Hal ini menyebabkan durasi paparan yang lebih singkat namun meningkatkan kemungkinan trauma tumpul. Paparan arus bolak-balik (AC) dengan tegangan

yang sama cenderung tiga kali lebih berbahaya dari DC karena dapat menyebabkan kontraksi otot terus-menerus (tetani). (2) Lamanya kontak, semakin lama kontak, maka akan semakin besar arus listrik yang memasuki jaringan tubuh. (3) Besarnya tegangan (*voltase*). Tegangan adalah ukuran dari perbedaan potensial listrik antara dua titik dan ditentukan oleh sumber listrik. Sengatan listrik diklasifikasikan menjadi tegangan tinggi (≥ 1000 V) dan tegangan rendah (<1000 V). Tegangan sering menjadi satu-satunya variabel yang diketahui dengan pasti setelah terpapar listrik, oleh karenanya tegangan listrik menjadi penanda yang paling masuk akal untuk mengkategorikan sengatan listrik. Sengatan listrik tegangan tinggi mengakibatkan cedera yang lebih parah perwaktu paparan. (4) Besarnya tahanan (resistensi). Menurut hukum Ohm, arus listrik sebanding dengan sumber tegangan dan berbanding terbalik dengan resistansi konduktor. Dengan demikian, paparan listrik ke bagian tubuh yang berbeda dengan tegangan yang sama akan menghasilkan arus yang berbeda (dengan lama dan tingkat kerusakan yang berbeda) karena resistensi bervariasi antara berbagai jaringan. Resistensi paling rendah ditemukan dalam saraf, darah, selaput lendir, dan otot sedangkan resistensi tertinggi ditemukan di tulang, lemak, dan tendon. Kulit memiliki resistensi intermediet. (5) Kuat arus (*ampere*), besarnya kuat arus menentukan berbagai efek yang terjadi pada tubuh. (6) Luasnya daerah terkena kontak.^{4,5,7,8}

Sengatan arus listrik dapat menyebabkan cedera multisistem. Sistem tubuh yang paling banyak terkena adalah sistem kardiovaskular, sistem saraf, sistem respirasi, dan sistem integumen. Cedera sistem kardiovaskular adalah cedera sistem yang berpotensi untuk mengancam nyawa. Ketika arus listrik tersalurkan ke jantung akan menyebabkan jantung mengalami aritmia dan infark miokardium.^{9,10}

Paparan arus listrik baik tegangan tinggi maupun tegangan rendah dapat merusak otot jantung.⁷ Arus listrik dapat mempengaruhi jantung dalam dua cara yaitu dengan menyebabkan nekrosis langsung pada miokardium akibat efek konversi elektrotermal dan elektroporasi, dan dengan menyebabkan

kelainan irama jantung karena spasme dan hipoperfusi koroner.^{3,7}

Pembuluh darah yang terlibat sebagai akibat dari efek sengatan listrik bergantung dari ukurannya. Arteri besar tidak ikut terpengaruh karena alirannya yang cepat memungkinkannya untuk mengusir panas yang dihasilkan oleh arus listrik. Namun, arteri besar rentan terhadap nekrosis medial yang berujung pada pembentukan aneurisma dan pada akhirnya menjadi pecah. Arteri kecil mengalami nekrosis koagulasi akibat cedera sengatan listrik tegangan tinggi.³

Penelitian pernah dilakukan dengan analisis retrospektif dari semua pasien anak (<15 tahun) dengan cedera listrik meliputi masa studi 7 tahun. Dalam penelitian ini, 8 anak menunjukkan kelainan EKG (takikardia sinus, blok cabang berkas tidak lengkap kanan, dan gelombang T negatif). Selanjutnya, 10 anak-anak diklasifikasikan sebagai pasien berisiko tinggi (kulit lembab, nyeri dada). Analisis data dari 36 anak-anak (<18 tahun) dengan cedera sengatan listrik. Dari jumlah tersebut, 5 anak-anak meninggal di rumah sakit mengalami antara ini, tanda-tanda syok, takikardia sinus, pingsan, dan kadar LDH yang tinggi.^{11,12}

Berbagai kelainan irama jantung telah dilaporkan dari hasil pemeriksaan pasien yang selamat dari cedera listrik, dan patogenesis aritmia tersebut masih tidak jelas dan kemungkinan besar penyebabnya multifaktorial. Mekanisme kelainan irama jantung dapat dijelaskan sebagai akibat terjadinya hipoksia jaringan akibat gagal napas, fokus aritmogenik akibat nekrosis miokardium, perubahan konsentrasi Na-K adenosinetrifosfatase, dan perubahan permeabilitas membran miosit. Kelainan irama jantung yang muncul lama mungkin karena fokus aritmogenik sekunder untuk nekrosis miokardium dan cedera dari nodus SA.⁹

Kematian jantung mendadak karena fibrilasi ventrikel sering terjadi akibat arus listrik bolak-balik tegangan rendah, sedangkan asistol lebih sering oleh kejutan arus listrik bolak-balik tegangan tinggi. Studi eksperimental menunjukkan arus bolak-balik menjadi lebih berbahaya daripada arus langsung diterapkan pada tegangan yang sama. Dalam model anjing, fibrilasi ventrikel terjadi 9 kali lebih sering dengan arus bolak-balik daripada arus

searah. Menariknya, pada tegangan berkisar antara 50 sampai 500 V, kejadian fibrilasi ventrikel berbanding terbalik dengan besar tegangan dan terjadinya takikardia ventrikel dan fibrilasi atrium yang berbanding lurus dengan besar tegangan. Aritmia fatal besar kemungkinan disebabkan oleh aliran arus horizontal (tangan ke tangan) sedangkan arus yang secara vertikal (dari kepala sampai kaki) lebih sering menyebabkan kerusakan jaringan miokardium. Apabila selamat dari sengatan listrik, besar risiko mengalami beberapa bentuk aritmia berikutnya (10% sampai 46%). Kebanyakan aritmia terjadi segera setelah sengatan listrik, namun hingga 12 jam setelah insiden aritmia dapat baru terjadi.⁷

Berbagai temuan dalam hasil pemeriksaan elektrokardiografi menunjukkan terjadinya kelainan irama jantung setelah mengalami sengatan arus listrik. Paparan dengan arus rendah AC sering menyebabkan fibrilasi ventrikel, sedangkan paparan dengan arus kuat DC sering terjadi asistol. Beberapa temuan lainnya menunjukkan kelainan berupa sinus takikardi, AV blok derajat I, elevasi segmen ST sementara, perpanjangan segmen QT reversibel, kontraksi ventrikel prematur, fibrilasi atrium, dan *bundle branch block*.^{5,13}

Kerusakan pada dinding pembuluh pada saat cedera dapat mengakibatkan trombosis dan perdarahan, terutama di arteri-arteri kecil pada otot jantung. Perubahan vaskuler yang sedang berlangsung dapat menyebabkan berkurangnya suplai darah ke daerah yang terkena.⁵

Sengatan listrik dapat menyebabkan beberapa mekanisme dalam tubuh yaitu (1) elektroporasi. Elektroporasi terjadi saat energi listrik diinduksikan pada sel sehingga meningkatkan permeabilitas membran sel dan dapat membentuk pori-pori membrane. (2) Hiperkontraksi serabut otot. Aliran listrik yang terus menerus merangsang *voltage-gate channel membranesel* sehingga terjadi hiperpolarisasi.^{14,15} Selain itu juga terjadi spasme arteri koroner, efek trombogenik hipotensi, dan efek termal pada miokardium yang akan berakhir pada kerusakan atau nekrosis otot jantung.¹⁶

Nekrosis otot jantung akan menyebabkan ruptur membran sel yang ditandai oleh pelepasan mioglobin dari spatium

intraseluler secara besar-besaran, depolarisasi miosit dan tidak adekuatnya ATP sitoplasma untuk melepaskan kompleks *actin-miosin*, peningkatan kadar asam arakhidonat pada membran fosfolipid.⁸

Pelepasan protein intraseluler ke dalam ruang interstitial dan sirkulasi sistemik melalui mikrovaskular lokal dan aliran limfatik merupakan salah satu penanda terjadinya ruptur membran sel otot jantung. Protein-protein intraseluler meliputi *aspartate aminotransferase* (AST), *lactate dehydrogenase*, *creatin phosphokinase* (CPK), *creatin kinase* (CK), *creatin kinase isoenzyme* MB (CK-MB), *myoglobin*, *carbonic anhydrase* III (CA III), *myosin light chain* (MLC), dan *cardiac troponin* I dan T (cTnI dan cTnT). Pada cedera yang diakibatkan sengatan listrik ditemukan terdapat peningkatan yang signifikan dan sangat cepat dari troponin I, CK-MB dan CPK. Peningkatan pada cTnI berlangsung cepat pada 12 jam setelah kejadian dan dapat mengalami peningkatan 1000 kali dari nilai normalnya yaitu 0,02 mL. Sedangkan pada CK-MB dan CPK peningkatan berlangsung jauh lebih cepat dari cTnI.¹⁷⁻¹⁹

Kedua kadar serum CK dan CK-MB meningkat, karena secara bersamaan terjadi cedera otot skeletal serta henti jantung paru. Tidak jelas sampai sejauh mana cedera muskuloskeletal berkontribusi dalam peningkatan biomarker ini. Hal ini dapat menyebabkan diagnosis palsu dari infark miokard setelah sengatan listrik.¹⁶

Ringkasan

Jantung merupakan salah satu organ yang sangat mudah terkena efek dari paparan arus listrik. Arus listrik dapat menyebabkan kerusakan pada miokardium melalui mekanisme elektroporasi, konversi energi listrik menjadi energi termal, dan hipoperfusi serta spasme koroner. Mekanisme tersebut akan menyebabkan terjadinya hipoksia jaringan, terbentuknya fokus aritmogenik akibat nekrosis miokardium, perubahan konsentrasi Na-K *adenosine trifosfatase*, dan perubahan permeabilitas membran miosit. Kerusakan struktural jantung yang disebabkan mekanisme tersebut ditandai dengan peningkatan biomarker serum, dan kelainan irama jantung. Kelainan irama jantung yang sering terjadi adalah fibrilasi ventrikel, dan

asistol. Sedangkan biomarker serum yang menandai adanya ruptur membran sel otot jantung ditunjukkan oleh peningkatan kadar troponin I.

Simpulan

Sengatan listrik dapat menyebabkan cedera pada tingkat seluler. Arus listrik yang mengalir ke jantung dapat menyebabkan terjadi kelainan irama jantung dan peningkatan kadar biomarker jantung.

Daftar Pustaka

1. Bharath KG, Sheikh K, Uday PS. Pattern of injuries due to electric current. *J Indian Acad Forensic Med.* 2012;34(1):1-5.
2. Amela S, Nermina B, Alma E, Aladin C, Jusuf S, Elma J, et al. Us and ct of the liver after electric shock. *Case Rep Radiol.* 2016; 2016:1-4.
3. Anastassios CK. Electrical injuries. *Crit Care Med.* 2002; 30(11):424-30.
4. Colwell CB. Lightning and electrical injuries. Dalam: James GA, editors. *Emergency medicine: clinical essentials.* US: Elsevier; 2013. hlm. 1148-52.
5. Price TG, Cooper MA. electrical and lightning injuries. Dalam: Robert WS, Milton T, Charles GM, Ghazala S, Loren Y, editors. *Strange and Schafermeyer's pediatric emergency medicine.* Edisi ke-4. UK: Mc Graw Hill Education; 2014. hlm. 1906-18.
6. Osman B, Tolga HE, Hakki K, Murat B, Lale DA, Mehmet BY. Electrical Injury-Induced complete atrioventricular block: is permanent pacemaker required. *Case Rep Cardiol.* 2015; 2015:1-3.
7. Spies C and Trohman RG. Narrative review: electrocution and life-threatening electrical injuries. *Ann Intern Med.* 2006;145(7):531-7.
8. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical injuries: etiology, pathophysiology and mechanism of injury. *Maced J Med Sci.* 2008; 1(2):54-8.
9. Fish RM, Geddes LA. Conduction of electrical current to and through the human body: a review. *Eplasty.* 2009;9:407-20.
10. Moore K. Hot topics: electrical injuries in the emergency department. *J Emerg Nurs.* 2015;41(5):455-6.
11. Claudet I, Marechal C, Debuissson C, Salanne S. Risque de trouble du rythme et électrisation par courant domestique/risk of arrhythmia and domestic low-voltage electrical injury. *Arch Pediatr.* 2010;17:343-9.
12. Gokdemir MT, Kaya H, Sögüt O, Cevik M. Factors affecting the clinical outcome of low voltage electrical injuries in children. *Pediatr Emerg Care.* 2013; 29:357-9.
13. Czuczman AD, Zane RD. Electrical injuries: a review for the emergency clinician. *Emerg Med Pract.* 2009; 11(10):1-24.
14. Miklavčič, D. *Electroporation based technologies and treatments.* Slovenia: University of Ljubljana; 2008.
15. Bikson M. A review of hazards association with exposure to low voltages [internet]. New York: Department of Biomedical Engineering, City College of New York of the City University of New York [diakses tanggal 15 April 2016]. Tersedia dari: <http://bme.cuny.cuny.edu/faculty/mbikson/BiksonMSafeVoltageReview.pdf>
16. Aksuyek C, Okan G, Hulya C, Serkan G, Gurkan K, Vasfi U. Myocardial infarction after an electric shock: a rare complication. *Cardiology Journal.* 2009; 16(4):362-4.
17. Nur S, Djanggan S. Sensitivitas dan spesifisitas troponin T dan I pada diagnosis infark miokard akut. *Maj Kedokteran Indonesia.* 2007;57(10):363-72.
18. Hung LN, Tien TD. myocardial injury after electric accident: dynamic change of cardiac biomarkers was the important key for diagnosis of this serious complication. *JBM.* 2015; 3:78-81.
19. Cemin R, Rauhe W, Marini M, Piescoller F, Pitscheider W. Serum troponin I level after external electrical direct current synchronized cardioversion in patients with normal or reduced ejection fraction: no evidence of myocytes injury. *Clin Cardiol.* 2005; 28:267-70.