

Efek Paparan Arus Listrik terhadap Jumlah Titik Hiperkontraksi Otot *Gastrocnemius* dan Kadar Kreatin Kinase Serum Tikus Wistar

Arfi Syamsun

ABSTRAK

Latar belakang : Tujuan penelitian ini adalah untuk membuktikan efek paparan arus listrik terhadap jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* dan kadar kreatin kinase serum.

Metode : 54 ekor tikus wistar diambil dengan *simple random sampling*. Sampel dibagi menjadi 9 kelompok, yaitu: kelompok 1-4 terpapar arus listrik secara langsung, yaitu berturut-turut 1-30 mA, 31-60 mA, 61-90 mA, 91-120 mA. Kelompok 5-8 terpapar arus listrik melalui medium air, yaitu berturut-turut 1-30 mA, 31-60 mA, 61-90 mA, 91-120 mA. Kelompok 9 tidak terpapar arus listrik. Setelah adaptasi selama 7 hari, dilakukan paparan arus listrik kemudian dilakukan pemeriksaan kadar kreatin kinase serum dan pemeriksaan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius*. Analisis data dilakukan dengan Uji Spearman

Hasil : Terdapat korelasi positif antara besar paparan arus listrik secara langsung dan melalui medium air dengan kadar kreatin kinase serum tikus *wistar* ($\rho = 0,632$; $p = 0,000$, dan $\rho = 0,701$; $p = 0,000$). Terdapat korelasi positif antara besar paparan arus listrik secara langsung dan melalui medium air dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* ($\rho = 0,959$; $p = 0,000$, dan $\rho = 0,910$; $p = 0,000$)

Simpulan : Semakin besar paparan arus listrik, semakin besar jumlah hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* dan kadar kreatin kinase serum.

Kata kunci : arus listrik, kontak langsung, medium air, otot *gastrocnemius*, hiperkontraksi, kreatin kinase

ABSTRACT

Background: This study aim to prove the effect of electric current in graded doses towards hypercontraction on *gastrocnemius* level and creatine kinase serum level of wistar rats.

Method: 54 wistar rats were divided into 9 groups through simple random sampling. Group 1-4 received electric current through direct contact, while group 5-8 received it through water conduction. Group 1 and 5, 2 and 6, 3 and 7, 4 and 8 received 1-30 mA, 31-60 mA, 61-90 mA, and 91-120 mA of electric current respectively. Group 9 was received no treatment. After adaption period for 7 days, electrocution was performed, and then creatine kinase serum level was measured and assessed the amount of hypercontraction on *gastrocnemius* muscle. Statistical analysis was conducted by using Spearman test

Result: There was significant positive correlation between electric current in graded doses and creatine kinase serum level both through direct contact and water conduction ($\rho = 0.632$, $p = 0.000$; and $\rho = 0.701$, $p = 0.000$ respectively). There was significant positive correlation between electric current in graded doses and hypercontraction on *gastrocnemius* muscle both through direct contact and water conduction ($\rho = 0.959$, $p = 0.000$; and $\rho = 0.910$, $p = 0.000$ respectively).

Conclusion: Higher doses of electric current correlated more numbers of hypercontraction on *gastrocnemius* muscle and higher level of creatine kinase serum.

Keywords: electric current, direct contact, water conduction, *gastrocnemius* muscle, hypercontraction, creatine kinase .

PENDAHULUAN

Efek sengatan listrik terhadap tubuh manusia masih menjadi perdebatan antar ahli forensik hingga saat ini. Kontroversi tersebut terutama dalam aspek penentuan bentuk kerusakan jaringan tubuh dan jenis jaringan yang mengalami kerusakan. Langkah awal penyelidikan jejas sengatan listrik pada permukaan tubuh korban adalah menemukan luka bakar listrik (*electrical marks*) pada kulit.^{1,2,3}

Penelitian-penelitian yang dilakukan pada korban sengatan listrik baik yang menjalani perawatan maupun korban yang meninggal menunjukkan temuan-temuan gambaran luka bakar yang tidak khas dan peningkatan kadar kreatin kinase serum. Penelitian pada hewan coba dengan variasi dosis paparan listrik tidak mematikan (*non-lethal*) dan variasi waktu pengambilan sampel beberapa jam setelah paparan arus listrik menunjukkan temuan gambaran hiperkontraksi (*contracted, ruptured muscle*), hiperemi, dan nekrosis otot ekstremitas serta peningkatan kadar kreatin kinase serum hewan coba.^{9,10,11,12,13}

Penelitian pada hewan coba dengan menggunakan paparan arus listrik dosis bertingkat untuk menganalisis peningkatan kadar kreatin kinase serum dan kerusakan otot-otot ekstremitas masih belum ada sekarang ini. Kerusakan histopatologik pada otot ekstremitas yang berjarak paling dekat dengan *point of contact* dan *point of grounded* listrik belum pernah dibandingkan dengan kerusakan otot ekstremitas lainnya (*homolateral* dan *kontralateral*). Pengetahuan tentang perbedaan kerusakan histopatologik antar otot-otot ekstremitas sangat berguna bagi dokter forensik yang akan melakukan pemilihan sampel jaringan untuk membuktikan dugaan sengatan listrik.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya karena selain alasan-alasan yang telah dikemukakan di atas, pengambilan sampel darah dan otot

ekstremitas dilakukan segera setelah sengatan listrik untuk mendapatkan gambaran kadar kreatin kinase serum dan kerusakan histopatologis otot ekstremitas sebelum kematian korban, agar gambaran tersebut tidak dikacaukan dengan perubahan sejenis akibat proses *postmortem*. Tingkat kerusakan organ tubuh akibat sengatan listrik ditentukan oleh besarnya arus listrik yang melalui organ-organ tersebut, sehingga pada penelitian ini dilakukan perlakuan paparan listrik dengan dosis bertingkat. Penelitian pendahuluan yang peneliti lakukan menunjukkan bahwa besar arus listrik maksimal yang melewati tubuh tikus wistar selama paparan listrik tegangan 220 Volt (V) adalah 110-128 miliamper (mA). Penelitian tersebut juga membuktikan bahwa tikus wistar mengalami kematian kurang dari satu jam setelah paparan listrik 110-128 mA selama 60 detik.

Telapak tangan atau telapak kaki paling sering menjadi *point of contact* atau *point of grounded* listrik. Otot ekstremitas yang memiliki berat otot paling besar dan berada paling dekat dengan lokasi *point of contact* dan *point of grounded* listrik adalah otot *gastrocnemius*.

METODE DAN CARA KERJA

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorik dengan rancangan penelitian *Posttest Only Control group design* yang menggunakan tikus wistar sebagai obyek percobaan. Jumlah keseluruhan sampel adalah 54 ekor tikus wistar jantan dengan berat badan 150 -200 gram. Melakukan adaptasi terhadap 54 ekor tikus wistar jantan selama 7 hari di laboratorium dengan kandang tunggal dan diberi pakan standar serta minum secukupnya. Pada hari ke-8, membagi tikus wistar menjadi 9 kelompok yang masing – masing terdiri dari 6 ekor tikus wistar yang dipilih secara acak. Setiap kelompok tikus

wistar diberi tanda dengan asam pikrat pada daerah yang berbeda yaitu kepala, punggung, ekor, dan kaki. Selanjutnya menimbang berat badan masing - masing tikus. Memberikan paparan arus listrik secara langsung selama 60 detik pada kelompok 1, 2, 3, dan 4 dengan cara menjepitkan ujung konduktor (listrik masuk) pada telapak kaki kiri depan tikus wistar dan ujung konduktor lainnya (listrik keluar) di telapak kaki kanan belakang tikus wistar. Kelompok 1 mendapatkan paparan arus listrik 1-30 mA, kelompok 2 mendapatkan paparan arus listrik 31-60 mA, kelompok 3 mendapatkan paparan arus listrik 61-90 mA, kelompok 4 mendapatkan paparan arus listrik 91-120 mA. Memberikan paparan arus listrik melalui medium air selama 60 detik pada kelompok 5, 6, 7, dan 8 dengan cara mencelupkan ujung konduktor ke dalam wadah kaca/aquarium berukuran 20,5 x 19,5 x 14,5 sentimeter yang diisi air sumur artesis sebanyak 0,5 liter. Kelompok 5 mendapatkan paparan arus listrik 1-30 mA, kelompok 6 mendapatkan paparan arus listrik 31-60 mA, kelompok 7 mendapatkan paparan arus listrik 61-90 mA, kelompok 8 mendapatkan paparan arus listrik 91-120 mA. Kelompok kontrol (kelompok 9) tidak mendapatkan paparan arus listrik. Melakukan pengambilan darah sebanyak 2 mililiter dari pembuluh darah *retro orbita* tikus wistar yang telah mendapatkan paparan arus listrik maupun tikus wistar yang menjadi kontrol, kemudian darah tersebut dimasukkan ke dalam tabung dan selanjutnya dikirim ke Laboratorium CITO Jl. Indraprasta no.81 Semarang. Sampel darah diperiksa dengan menggunakan *COBAS integra 400 Plus-Roche*. Mematikan hewan coba yang belum mati dengan cara *dekaptasi* leher. Membuat irisan pada kulit betis ektremitas tikus wistar dengan menggunakan pisau. Memisahkan otot dari lapisan kulit dan jaringan subkutan di

atasnya. Kemudian mengambil ½ otot *gastrocnemius* bagian bawah (*distal*). Sampel otot tersebut diletakkan pada tabung berisi cairan pengawet bufer formalin 10% dengan perbandingan 1 bagian otot dan 9 bagian bufer formalin 10 %. Meletakkan tabung berisi sampel otot *gastrocnemius* tikus wistar ke rak tabung kemudian diserahkan ke analis guna mengolahnya mengikuti metode baku histologi dengan pewarnaan *Hematoxylin-Eosin*. Dari setiap sampel otot dibuat preparat dengan potongan *longitudinal*. Preparat tersebut akan dibaca oleh seorang dokter spesialis patologi anatomi dan peneliti. Pembacaan preparat dalam lima lapangan pandang dengan perbesaran 400x. Sasaran yang dibaca adalah jumlah sel-sel otot *gastrocnemius* ekstremitas tikus wistar yang mengalami nekrosis dan jumlah titik-titik hiperkontraksi pada serabut-serabut otot *gastrocnemius*. Data pemeriksaan dicatat dalam formulir untuk kemudian dianalisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi antara paparan arus listrik dosis bertingkat secara langsung dan melalui medium air terhadap jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* dapat dijelaskan dalam tabel berikut ini :

Tabel 1. Korelasi antara paparan arus listrik dosis bertingkat dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius*

Besarnya dosis arus listrik	Jumlah titik hiperkontraksi serabut otot <i>gastrocnemius</i>	
	Secara langsung Rerata (simpang baku)	Melalui medium air Rerata (simpang baku)
kontrol	40,67 (9,85)	40,67 (9,85)
1-30 mA	300,33 (91,33)	477,17 (43,89)
31-60 mA	455,83 (69,65)	802,00 (93,67)
61-90 mA	716,17 (115,98)	1145,00 (418,38)
91-120 mA	1058,17 (243,26)	1353,83 (257,51)
<i>rho</i>	0,959	0,910
<i>p</i> *	0,000	0,000

*uji korelasi Spearman

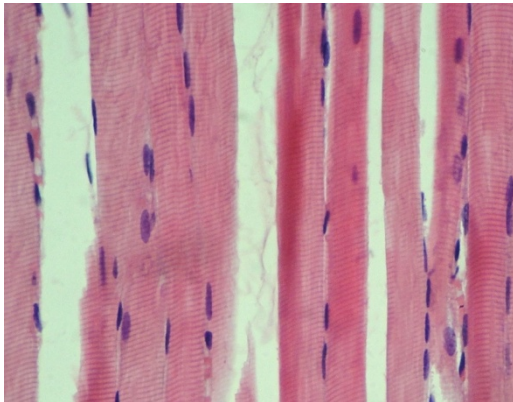
Korelasi antara paparan arus listrik dosis bertingkat secara langsung dan melalui medium air dengan kadar kreatin kinase serum dapat dijelaskan dalam tabel berikut ini :

Tabel 2. Korelasi antara paparan arus listrik dosis bertingkat dengan kadar kreatin kinase serum

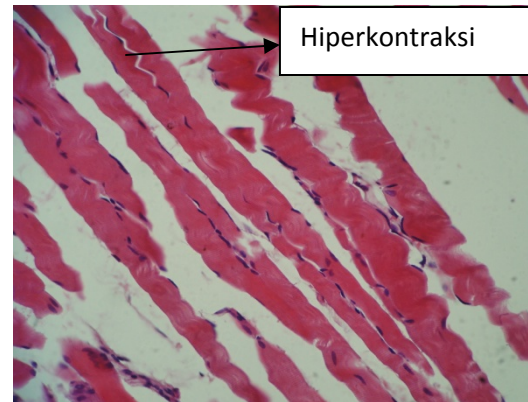
Besarnya dosis arus listrik	Kadar kreatin kinase serum	
	Secara langsung Rerata (simpang baku)	Melalui medium air Rerata (simpang baku)
Control	533,33 (108,6)	533,33 (108,6)
1-30 mA	834,83 (522,35)	818,33 (373,66)
31-60 mA	1287,83 (496,77)	1003,00 (415,36)
61-90 mA	1362,33 (758,66)	1210,00 (545,52)
91-120 mA	1552,83 (696,25)	1588,17 (498,15)
<i>Rho</i>	0,632	0,701
<i>p</i> *	0,000	0,000

*uji korelasi Spearman

Gambar 1. Gambaran normal otot *gastrocnemius* tikus wistar



Gambar 2. Gambaran titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius*



Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi bermakna antara paparan arus listrik dosis bertingkat secara langsung dan melalui medium air dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius*. Hal ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa arus listrik bolak balik (*alternating current*) menyebabkan kontraksi otot yang bersifat tetani antara 40-110 kali per detik. Kontraksi tetani tersebut memungkinkan korban akan menggenggam konduktor secara terus menerus sehingga semakin memperparah keadaan korban.¹⁶ Aliran listrik rumah tangga mempunyai frekuensi 50 Hertz. Frekwensi ini mempunyai efek merangsang saraf dan otot sehingga terjadi kontraksi otot.^{14,15}

Penelitian lain pada tikus yang dilakukan oleh Kilic S, sozuer EM, Deniz K, Saraymen R, Avsarogullari L, Ozkan S menemukan adanya gambaran *contracted*, ruptur serabut otot paha, hiperemi, dan nekrosis pada sel otot paha setelah paparan arus listrik bolak balik secara langsung selama 5 detik.⁹ Sengatan listrik akan menyebabkan kontraksi serat otot rangka dan pemampatan pita Z (Z bands). Puschel dan Brinkmann (1979) mengatakan bahwa arus listrik menimbulkan hiperkontraksi serat otot rangka dan agregasi trombosit intravaskuler.³

Otot merupakan jaringan tubuh yang memiliki kelistrikan sendiri dan dapat dirangsang (*excitable cells*) oleh rangsang kimia dan fisika dari luar. Otot dan saraf adalah jaringan tubuh yang paling rentan dari pengaruh sengatan listrik. Jaringan otot yang dilalui arus listrik akan mengalami kerusakan yang dapat pulih (*reversible*) maupun tidak dapat pulih (*irreversible*) melalui mekanisme elektroporasi, panas (*joule heating*), hiperkontraksi dan ruptur serabut-serabut otot.^{6,7,8}

Semakin besar arus listrik yang memasuki tubuh maka semakin parah kerusakan organ dalam. Jumlah arus listrik yang memasuki tubuh dipengaruhi oleh variabel-variabel elektrofisik, yaitu: besar tegangan listrik, besar tahanan jaringan tubuh, lama kontak dan luas kontak dengan listrik, medium air (kadar elektrolit dan suhu air) yang dilalui arus listrik.^{1,2,6,17}

Otot rangka merupakan jaringan yang membawa arus listrik paling besar karena otot rangka memiliki proporsi volum yang paling besar dibandingkan jaringan lainnya.¹⁷

Penelitian ini tidak menemukan gambaran nekrosis sel otot *gastrocnemius* setelah paparan arus listrik. Hal ini karena proses terjadinya nekrosis memerlukan waktu beberapa jam bahkan beberapa hari setelah sengatan listrik. Sementara itu, pada penelitian ini sampel otot diperiksa segera setelah sengatan listrik.

Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat korelasi bermakna antara paparan arus listrik dosis bertingkat dengan kadar kreatin kinase serum. Hasil penelitian ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa kerusakan organ-organ tubuh ditentukan oleh jumlah arus listrik yang melewati organ tubuh tersebut.^{14,16} Kerusakan otot rangka menyebabkan materi-materi intrasel, misalnya : kreatin kinase, mioglobin, ion kalium, dll dilepaskan ke sirkulasi darah.^{6,7,8}

Penelitian ini melakukan penilaian kadar kreatin kinase serum tikus wistar segera setelah tikus wistar mendapatkan trauma sengatan listrik, sehingga nilai yang ada belum menunjukkan kadar puncak kreatin kinase serum. Puncak kadar kreatin kinase serum akan dijumpai hingga 24 jam setelah terjadi trauma yang mengenai otot.^{34,37} Konsentrasi kreatin kinase serum total sangat meningkat setelah trauma otot rangka karena tersengat listrik, cedera mekanis, kejang, tetani, insisi bedah, atau penyuntikan intramuskulus.^{24,26,34}

SIMPULAN

Terdapat korelasi positif antara paparan arus listrik dosis bertingkat secara langsung dan melalui medium air dengan jumlah titik hiperkontraksi serabut otot *gastrocnemius* dan kadar kreatin kinase serum tikus wistar

DAFTAR PUSTAKA

1. Dimaio VJ, Dimaio D. Forensic pathology. 2nd ed. London: CRC Press; 2001.
2. Shepherd R. Simpson's forensic medicine. 12 th ed. London: Arnold;2003.
3. Janssen W. Forensic histopathology. Berlin : Springer-Verlag;1984.
4. Bockholdt B , Schneider V. Death by electrocution in bathtub. Available from: URL: <http://www.medline.ru/public/sudm/a2/art3-2-2.phtml>
5. Budi S, Zulhasmar S, Tjetjep DS. Peranan ilmu forensik dalam penegakan hukum. Jakarta: Pustaka Dwipar; 2003.
6. Memon AR, Tahir SM, Memon FM, Hashmi F, Shaikh BF. Serum creatine phosphokinase as prognostic indicator in the management of

- electrical Burn. Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan 2008;18:201-4.
7. Bikson M. A review of hazards association with exposure to low voltages. Available from: URL: <http://bme.ccnycuny.edu/faculty/mbikson/BiksonMSafeVoltageReview.pdf>
 8. Criner JA, Appelt M, Coker C, Conrad S, Holliday J. Rhabdomyolysis : the hidden killer. MEDSURG Nursing 2002;11: 138-55.
 9. Kilic S, sozuer EM, Deniz K, Saraymen R, Avsarogullari L, Ozkan S. Correlation of serum procalcitonin and creatine phospho-kinase levels with tissue histopathology in rats exposed to experimental electric injury. Erciyes Medical Journal 2007;29:18-24.
 10. Qin ZQ, Gong YC, Huang XH. Ultrastructure changes of electrical injury in rats. Fa Yi Xue Za Zhi Journal 2001;17:142-4.
 11. Wang XW, Jin RX, Bartle EJ, Davies JW. Creatinine phosphokinase values in electrical and thermal burns. Thermal Injury Journal 1987;13:309-12.
 12. Michiue T, Ishikawa T, Zhao D, Kamikodai Y, Zhu B, Maeda H. Pathological and biochemical analysis of the pathophysiology of fatal electrocution in five autopsy cases. Legal Medicine 2009;11:549-52.
 13. Ahrenholz DH, Schubert W, Solem LD. Creatine kinase as a prognostic indicator in electrical injury. Surgery 1988;104:741-7.
 14. Gabriel JF. Fisika kedokteran. Jakarta : EGC;1996
 15. Malvino AV. Prinsip-prinsip elektronika. Edisi 1. Alih bahasa: Santoso AJ. Jakarta : Salemba Tehnika; 2003
 16. Martinez JA, Nguyen T. Electrical injuries. Southern Medical Journal 2000;93:1165-8.
 17. Lee RC, Zhang D, Hannig J. Biophysical injury mechanisms in electrical shock trauma. Annu Rev Biomed Eng 2000; 02: 477-509.
 18. Lenntech. Water conductivity. Available from: URL: <http://www.lenntech.com/applications/ultrapure/conductivity/water-conductivity.htm>
 19. 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.
 20. Akcan R, Hilal A, Gulmen MK, Cekin N. Childhood deaths due to electrocution in Adana, Turkey. Acta Paediatrica 2007;96:443-5.
 21. Byard RW, Hanson KA, Gilbert JD, James RA, Nadeau J, Blackbourne B, Krous HF. Death due to electrocution in childhood and early adolescence. Paediatr Child Health Journal 2003;39:46-8.
 22. Song TY. Electroporation of cell membranes. Biophys Journal 1991;60:297-306
 23. Membrane Advance Learner Page. Available from: URL: <http://life.nthu.edu.tw/~d857401/advance.html>
 24. Price SA, Wilson LM. Fisiologi proses-proses –penyakit. Edisi 4. Alih Bahasa : Anugerah P. Jakarta : EGC; 1995
 25. Underwood JCE. Patologi umum dan sistemik. Edisi 2. Sarjadi, editor. Jakarta : EGC;1999

26. Baron DN. Kapitas selekta patologi klinik. Edisi 4. Alih Bahasa : Adrianto P, Gunawan J. Jakarta :EGC; 1992
27. Cooper MA, Price TG. Electrical and lightning injuries. Available from: URL: <http://www.uic.edu/labs/lightninginjuri/Electr%26Ltn.pdf>
28. Dzhokic G, Jovchevska J, Dika A. Electrical Injuries: etiology, pathophysiology and mechanism. Macedonian Journal of Medical Sciences 2008;1: 54-8
29. Guyton AC, Hall JE. Buku ajar fisiologi kedokteran. Setiawan I, editor . Edisi 9. Penerjemah: Setiawan I, Tengadi KA, Santoso A. Jakarta: EGC;1997
30. Ganong WF. Buku ajar fisiologi kedokteran. Oswari J, editor. Edisi 14. Penerjemah : Andrianto P. Jakarta : EGC; 1995
31. Matthews GG. The mechanism of filament sliding during contraction of a myofibril. Available from: URL: <http://www.blackwellpublishing.com/matthews/myosin.html>
32. Muscle Contraction. Wikipedia, the free encyclopedia. Available from: URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Muscle_contraction
33. Human physiology. Available from: URL: <http://people.eku.edu/ritchisong/RITCHISO/301notes3.htm>
34. Widmann FK. Tinjauan klinis atas hasil laboratorium. Edisi 9. Penerjemah : Kresno SB, Gandasoebrata R, Latu J. Jakarata: EGC;2000
35. Arts MP, Nieborg A, Brand R, Peul WC. Serum creatine phosphokinase as an indicator of muscle injury after various spinal and nonspinal surgical procedures. J Neurosurg Spine 2007; 7: 282-6.
36. Louthrenoo W, Weerayutwattana N, Lertprasertsuke N, Sukitawut W. Serum muscle enzymes, muscle pathology and clinical muscle weakness: correlation in Thai patients with polymyositis/dermatomyositis. J Med Assoc Thai 2002;85:26-32.
37. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. Br Med Bull 2007; 81-82: 209-30.
38. Spies C, Trohman RG. Narrative review: electrocution and life-threatening electrical injuries. Ann Intern Med 2006;145:531-37.
39. Kirkwood BR. Essentials of medical statistics. London : Blackwell Scientific Publications; 1989.
40. Sopiudin Dahlan. Statistik untuk kedokteran dan kesehatan. Edisi 3. Jakarta : Salemba Medika; 2008.