

LAPORAN PENELITIAN

Luas Kolaps Paru pada Anestesia Umum dengan Penilaian *Electrical Impedance Tomography* Durasi Kurang dari 2 Jam dan Lebih dari 2 Jam

Susilo Chandra, Nazalia Nashella, Eddy Harijanto, Rahendra

Departemen Anestesiologi dan *Intensive Care*, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Jakarta

Abstrak

Anestesia dan pembedahan dapat menyebabkan atelektasis intraoperasi, penurunan volume paru dan atelektasis akan menyebabkan komplikasi paru pascaoperasi. *Electrical impedance tomography* (EIT) merupakan alat pencitraan noninvasif untuk menilai distribusi ventilasi paru. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan luas kolaps paru yang terjadi pada anestesia umum dengan durasi kurang dari 2 jam dan lebih dari 2 jam dengan menggunakan EIT dan algoritma Costa dkk, dengan sebelumnya menghilangkan faktor komorbid dan faktor prediktor yang lain. Penelitian ini merupakan uji klinis prospektif yang dilakukan di RSCM Kirana selama bulan Maret sampai Mei 2013 pada 42 pasien dewasa usia 18–59 tahun, ASA 1–2 dan IMT <30 kg/m² yang menjalani operasi mata elektif dengan anestesia umum. Pengamatan dilakukan selama operasi dengan menggunakan EIT. Pasien dibagi ke dalam dua kelompok berdasarkan durasi anestesia lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam. Dilakukan pengukuran variasi tidal regional, volume tidal, peak inspiratori pressure, dan *positive end-expiratory pressure*. Hasil pengukuran dihitung sesuai algoritma Costa dkk untuk mencari luas kolaps yang terjadi. Pada kelompok anestesia umum dengan durasi lebih dari 2 jam didapatkan luas kolaps 16,83±8,47 % dan pada durasi kurang dari 2 jam didapatkan luas kolaps 16,16±11,93 % (p>0,05). Tidak terdapat perbedaan bermakna antara luas kolaps yang terjadi pada anestesia umum dengan durasi lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam.

Kata kunci: *Electrical impedance tomography*, kolaps paru, komplikasi paru pascaoperasi

Lung Collapse Assessment with Electrical Impedance Tomography in General Anesthesia Duration Less than 2 Hours and more than 2 Hours

Abstarct

Anesthesia and surgery can cause intraoperative atelectasis, whereas decreased lung volume, and atelectasis can lead to postoperative pulmonary complications. Electrical impedance tomography (EIT) is a noninvasive imaging to assess lung distribution of ventilation. The aim of this study was to compare lung collapse in patients without co morbid and other predictor of PPCs that undergone general anesthesia with duration more than 2 hours and less than 2 hours using EIT and Costa algorithm. This study was a prospective clinical trial conducted in RSCM Kirana during March to May 2013 on 42 patients aged 18–59 years, physical status ASA 1–2, and BMI < 30 kg/m² underwent elective eye surgery under general anesthesia. The EIT was used intraoperatively. At the end of anesthesia, the patients were divided into two groups based on the duration of anesthesia more than 2 hours and less than 2 hours. The regional tidal variation, tidal volume, peak inspiratory pressure, and positive end-expiratory pressure were observed then. Costa algorithm was used to calculate the lung collapse. In duration of anesthesia more than 2 hours group the lung collapse was 16,83 ± 8,47 %. In duration of anesthesia less than 2 hours group the lung collapse was 16,16±11,93 % (p>0,05). There was no significant difference between lung collapse in anesthesia duration more than 2 hours and less than 2 hours group.

Key words: Electrical impedance tomography, lung collapse, postoperative pulmonary complications

Korespondensi: Susilo Chandra, dr, SpAnK, FRC A Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif RSUPN dr Cipto Mangunkusumo, Bandung, Jl. Rawa Domba Blok A II No. 8 Taman Duren Sawit Jaktim *Mobile* 0811188540 *Email* susilochandra@hotmail.com

Pendahuluan

Anestesia umum sangat erat kaitannya dengan komplikasi paru pasca-anestesia *post-operative pulmonary complications (PPCs)* yang dapat meningkatkan angka mortalitas dan morbiditas.¹ Salah satu yang termasuk kedalam PPCs adalah atelektasis yaitu kolapsnya jaringan paru yang muncul pada 90% pada pasien yang teranestesi.^{2,3} Kehilangan dari tonus otot akibat pemberian obat anestesi, pemberian oksigen dengan fraksi yang tinggi, tekanan oleh jantung, dan adanya tekanan intraabdomen yang dapat menyebabkan terjadinya atelektasis.^{2,4} Pemberian oksigen dengan fraksi tinggi dapat menyebabkan atelektasis melalui proses reabsorpsi oksigen pada bagian paru dengan rasio ventilasi/perfusi yang rendah.^{2,5} Pembedahan dapat lebih memperberat penurunan volume paru dan atelektasis akibat dari kesulitan bernafas akibat dari insisi operasi, tirah baring, disfungsi diafragma, nyeri dan kesulitan untuk membersihkan jalan napas.⁴

Penelitian pada tahun 2009 menyatakan 13% pasien yang mengalami operasi abdomen bagian atas mengalami PPCs, dengan faktor prediktor durasi operasi lebih dari 180 menit.⁶ Sementara studi lain pada tahun 2008 terjadi insiden PPCs (24,6%) berhubungan dengan durasi operasi yang berkepanjangan (>300 menit).⁷ Penelitian tahun 2010 merumuskan suatu sistem skor untuk memprediksi komplikasi paru pascaanestesi.⁸ Sistem skor ini berdasar atas usia pasien, saturasi oksigen praoperasi, infeksi saluran napas, anemia praoperasi dengan hemoglobin ≤ 10 g/dL, insisi daerah operasi, durasi operasi, dan tingkat kegawat daruratan operasi tersebut.

Hampir 15 % dari seluruh volume paru dapat mengalami atelektasis terutama di daerah basal paru selama anestesia.⁹ Pasien dengan faktor komorbid atelektasis dapat bertambah berat. Penelitian lain menyatakan pasien dengan obesitas morbid insiden atelektasis meningkat dari 1+0,5% menjadi 11+6%.¹⁰ Pada suatu penelitian, Costa, dkk¹¹ merumuskan suatu algoritme untuk menilai persentasi paru yang kolaps pada berbagai macam *positive end expiratory pressure (PEEP)* untuk mendapatkan PEEP yang optimal dengan menggunakan *electrical impedance tomography* dan dinamakan algoritma Costa¹¹

Electrical impedance tomography (EIT) merupakan suatu alat yang menggunakan teknik pencitraan berdasarkan perbedaan potensial listrik pada seluruh tubuh. Alat ini merupakan suatu alat yang noninvasif dan nonradian sehingga dapat digunakan langsung di sisi tempat tidur. Alat ini dapat mendeteksi secara dini perubahan distribusi ventilasi baik pada pasien dengan napas spontan maupun dengan ventilasi mekanik.¹²⁻¹⁴

Pada sebagian besar penelitian sebelumnya, alat ini digunakan di ruangan *intensive care* untuk menilai efektifitas ventilasi positif yang diberikan pada pasien *acute respiratory distress syndrome (ARDS)*. Dengan menggunakan alat ini dan algoritme Costa diharapkan dapat menilai distribusi ventilasi yang terjadi intraoperasi dan dapat menghitung persentase kolaps paru yang terjadi selama intraoperasi.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan luas kolaps paru-paru pada pasien tanpa faktor komorbid dan faktor prediktor selain durasi anestesia yang mengalami anestesia umum dengan durasi lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam dinilai menggunakan algoritme costa dan menilai distribusi ventilasi yang terjadi dengan membandingkan distribusi ventilasi paru anterior dan posterior dalam nilai *impedance ratio (IR)* dengan *electrical impedance tomography*.

Subjek dan Metode

Penelitian ini merupakan uji klinis prospektif yang dilakukan pada pasien yang akan menjalani operasi mata elektif dengan anestesia umum di kamar operasi Rumah Sakit Mata Kirana RSUPN Cipto Mangunkusumo periode Maret sampai Mei 2013. Kriteria penerimaan pada penelitian ini adalah pasien yang akan menjalani operasi mata elektif dengan anestesia umum, usia 18–59 tahun, status fisik ASA I atau II, bersedia menjadi peserta penelitian. Kriteria penolakan adalah pasien dengan kelainan paru praoperasi, pasien obesitas, dan pasien yang mengalami kemungkinan sulit ventilasi dan intubasi. Kriteria pengeluan adalah pasien dengan kesulitan intubasi dan ventilasi yang tidak diprediksi sebelumnya pasien yang mengalami komplikasi paru intraoperasi akibat selain ventilasi dan intubasi, pasien yang mengalami pergantian jalan napas dari *laryngeal*

mask airway (LMA) menjadi pipa endotrakeal.

Pasien yang menjalani operasi mata secara elektif dan termasuk ke dalam kriteria penerimaan dan tidak termasuk kriteria penolakan dipasang alat monitor intraoperasi serta elektroda EIT. Pencatatan variasi tidal regional dilakukan pada EIT sebagai nilai variasi tidal regional saat pasien sadar. Dilakukan induksi dan pemasangan LMA dengan premedikasi midazolam 0,05 mg/kgBB, fentanil 1–2 ug/kgBB, induksi dengan propofol 1–2 mg/kgBB, pemasangan LMA difasilitasi dengan pemberian pelumpeh otot rokuronium 15 mg. Rumatan dengan menggunakan O₂, N₂O, dan isofluran. Pengaturan ventilator dengan *Mode of Ventilator* (MOV) volume control ventilation: volume tidal 6–8 mL/kgBB, frekuensi napas 12x/menit, PEEP 5, fraksi oksigen 50%. Dilakukan pencatatan nilai pada ventilator (volume tidal, *peak inspiratory pressure* (PIP), dan *positif end-expiratory pressure* (PEEP)) dan EIT (variasi tidal regional pada tiap *region of interest* (ROI) pada saat ventilator membacakan suatu volume tidal *peak inspiratory pressure* (PIP), dan PEEP pasien) pascainduksi (menit ke 0) dan setiap 15 menit sampai operasi selesai. Dilakukan *weaning* ventilator dan pelepasan LMA. Pasien dibagi

menjadi kategori durasi anestesi lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam. Dilakukan penghitungan *cumulated collapse* (%) pada setiap waktu sesuai algoritme Costa dan penghitungan *impedance ratio* (IR) dengan membandingkan variasi tidal regional pada paru anterior (ROI 1 dan 2) dan paru posterior (ROI 3 dan 4)

Uji statistik untuk melihat perbandingan luas kolaps paru durasi lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam menggunakan uji-t tidak berpasangan dan untuk melihat perubahan distribusi ventilasi menggunakan Uji Wilcoxon karena distribusi tidak normal. Kriteria dianggap bermakna bila $p < 0.05$.

Hasil

Penelitian dilakukan pada 42 orang subjek penelitian yang terbagi menjadi dua grup, yaitu kelompok yang menjalani anestesi umum dengan durasi lebih dari 2 jam (Kelompok A) dan durasi kurang dari 2 jam (Kelompok B). (Data dalam bentuk *Mean*±*SD*, kecuali pada jenis kelamin dan ASA dalam bentuk frekuensi (persentase))

Secara umum, pada penelitian ini didapatkan adanya perbedaan secara karakteristik pada kedua

Tabel 1 Karakteristik Subjek Penelitian

Karakteristik	Durasi Anestesia		
	Lebih dari 2 Jam (A)	Kurang dari 2 Jam (B)	
Jenis kelamin	Laki-laki	14 (58,3 %)	10 (41,7%)
	Perempuan	7 (38,9 %)	11 (61,1 %)
ASA	1	9 (47,4 %)	10 (52,6 %)
	2	12 (52,2 %)	11 (47,8 %)
Usia (tahun)	43,24±11,22		42,86±11,43
IMT (kg/m ²)	22,65±3,40		23,02±2,58
Lama operasi (menit)	131±14,59		62±17,59

Tabel 2 Perbandingan Luas Kolaps Paru

Variabel	Durasi Anestesia Lebih dari 2 Jam	Durasi Anestesia Kurang dari 2 Jam	Uji Statistik	Perbedaan Rata-rata	Nilai p	IK 95%
Luas kolaps (%)	16,83 ± 8,47	16,16 ± 11,93	<i>Independent T-test</i>	0,67	0,835	-5,72-7,12

Tabel 3 Perbandingan Distribusi Ventilasi pada Durasi Anestesia Lebih dari 2 Jam

<i>Impedance Ratio</i> variasi Volume Tidal	p
IR sadar-IR menit-0	0,000
IR sadar-IR akhir anestesia	0,002
IR menit-0-IR akhir anestesia	0,038

Uji statistik menggunakan Uji Wilcoxon

Tabel 4 Perbandingan Distribusi Ventilasi pada Durasi Anestesia Kurang dari 2 Jam

<i>Impedance Ratio</i> variasi Volume Tidal	p
IR sadar-IR menit-0	0,001
IR sadar-IR akhir anestesia	0,000
IR menit-0-IR akhir anestesia	0,088

Uji statistik menggunakan Uji Wilcoxon

kelompok. Kelompok A mengalami anestesia umum dengan durasi $131 \pm 14,59$ menit sementara kelompok B dengan durasi $62 \pm 17,59$ menit.

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil penelitian didapatkan luas kolaps pada akhir anestesia umum dengan durasi ≥ 2 jam adalah $16,83 \pm 8,47$ % sedangkan pada durasi ≤ 2 jam adalah $16,16 \pm 11,93$ %. Hal ini menunjukkan tidak ada perbedaan luas kolaps yang terjadi pada anestesia umum dengan durasi ≥ 2 jam dan ≤ 2 jam ($p > 0,05$). Distribusi ventilasi dinilai dengan membandingkan variasi tidal regional pada paru anterior dan paru posterior dan digambarkan dalam *impedance ratio* (IR).

Sesuai tabel 3 pada penelitian ini terdapat adanya perbedaan distribusi ventilasi pada durasi anestesia ≥ 2 jam baik pada saat pasien sadar dibanding dengan sesaat pascainduksi (menit-0 $p < 0,05$), saat pasien sadar dibanding dengan saat akhir anestesia ($p < 0,05$), begitu juga pada sesaat pascainduksi dibandingkan dengan saat akhir anestesia ($p < 0,05$).

Menurut tabel 3, pada anestesia umum dengan durasi ≤ 2 jam terjadi perbedaan distribusi ventilasi pada saat pasien sadar dibanding sesaat pascainduksi ($p < 0,05$) dan saat pasien sadar dibanding dengan akhir anestesia ($p < 0,05$). Namun sesaat pascainduksi dibanding akhir anestesia tidak menunjukkan adanya perbedaan ($p > 0,05$).

Pembahasan

Pemilihan subjek pada penelitian ini dengan karakteristik usia 18–59 tahun, pasien asa 1 dan 2, tanpa kelainan paru praoperasi dan bukan pasien obesitas bertujuan untuk menilai apakah durasi anestesia sendiri tanpa faktor komorbid dan faktor prediktor lain mempunyai peranan besar dalam menentukan luas kolaps paru yang terjadi. Sedangkan pemilihan durasi anestesia 2 jam sesuai dari penelitian bahwa 9,2 % pasien dengan durasi operasi ≥ 2 jam akan mengalami PPCs lebih dari satu, dimana PPCs merupakan akibat dari atelektasis intraoperasi yang berlanjut menjadi atelektasis pascaoperasi.⁸

Ternyata dari hasil penelitian didapatkan bahwa tidak ada perbedaan bermakna ($p > 0,05$) luas kolaps yang terjadi pada pasien dengan anestesia umum dengan durasi anestesia lebih dari 2 jam ($16,83 \pm 8,47\%$) dan kurang dari 2 jam ($16,16 \pm 11,93\%$). Hal ini mungkin disebabkan karena dihilangkannya faktor komorbid dan faktor-faktor prediktor lain pada saat pemilihan sampel. Atelektasis merupakan suatu fenomena *on/off* sehingga faktor lain seperti memegang peranan cukup besar untuk menentukan luas kolaps yang terjadi. Seperti pada penelitian Reinius dkk¹⁰ pada pasien dengan obesitas morbid atelektasis meningkat dari $1 \pm 0,5\%$ menjadi $11 \pm 6\%$.¹⁰

Pada penelitian terdapat perbedaan distribusi ventilasi saat pasien sadar dibanding dengan sesaat pascainduksi ($p < 0,05$) dan pada saat pasien sadar dibanding dengan saat akhir anestesia ($p < 0,05$) baik pada durasi anestesia ≥ 2 jam maupun pada durasi anestesia ≤ 2 jam. Hal ini menunjukkan terjadi perubahan distribusi ventilasi akibat tindakan anestesia dimulai dari pemberian obat-obat anestesia baik intravena dan inhalasi dan pemberian tekanan positif. Pada saat induksi anestesia akan terjadi penurunan dari tonus otot sehingga diafragma akan bergerak ke arah sefalad dan terjadi penurunan kapasitas residual fungsional.^{2,15} Penurunan kapasitas dari residual fungsional dapat menyebabkan adanya perubahan diameter pada jalan napas, distribusi ventilasi, pertukaran gas, dan kemungkinan atelektasis. Penurunan dari kapasitas residual fungsional menyebabkan ventilasi regional akan beralih ke bagian paru nondependen.^{2,15,16} Pada durasi anestesia ≥ 2 jam terjadi perbedaan distribusi ventilasi pada pascainduksi dan akhir anestesia ($p < 0,05$) sementara tidak terjadi perbedaan distribusi ventilasi pada pascainduksi dan akhir anestesia ($p > 0,05$) pada durasi anestesia ≤ 2 jam. Hal ini menunjukkan bahwa durasi anestesia mempunyai peranan dalam perubahan distribusi ventilasi.

Tidak terjadi perbedaan luas kolaps paru yang bermakna pada anestesia umum durasi lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam namun pada distribusi ventilasi terjadi perbedaan bermakna pada sesaat pascainduksi dan akhir anestesia pada durasi anestesia lebih dari 2 jam dan tidak terjadi perbedaan bermakna pada sesaat pascainduksi dan pada akhir anestesia pada durasi kurang dari 2 jam disebabkan oleh perhitungan luas kolaps paru berdasar atas komplians masing-masing ROI dimana penghitungan komplians berasal dari distribusi ventilasi dan *driving pressure*.

Sebenarnya pada penelitian ini masih banyak keterbatasan. Pertama adalah penggunaan jenis ventilator. Ventilator yang tersedia dan sesuai digunakan untuk penelitian ini adalah datex ohmeda s/5 aespire yang hanya terdiri atas oksigen dan N₂O dan tidak mengandung *compress air*. Sementara pada beberapa prosedur operasi mata dengan penggunaan gas mengharuskan anestesi menggunakan fraksi oksigen 100% beberapa

saat sebelum penggunaan gas. Kemudian dengan menggunakan ventilator ini kita tidak dapat menggunakan MOV dengan *pressure control*, sehingga *driving pressure* tidak selalu sama pada tiap waktu pengukuran. Namun pada keseluruhan sampel tidak dilakukan prosedur mata dengan penggunaan gas, sehingga fraksi oksigen bisa dipertahankan 50% hingga akhir pengukuran. *driving pressure* tidak selalu sama maka diasiasi dengan pengawasan dan pengukuran dengan interval waktu setiap 15 menit.

Kedua, untuk dapat memudahkan penelitian, peneliti hanya dapat menilai atelektasis yang terjadi pada saat pasien mulai dipasang LMA sampai pada akhir operasi dimana pernapasan pasien seluruhnya masih bergantung pada mesin. Sehingga penggunaan EIT dan algoritme Costa dkk hanya untuk menilai luas kolaps paru pada akhir anestesia umum relatif terhadap menit ke-0.

Ketiga, EIT merupakan alat untuk mengukur distribusi ventilasi sehingga distribusi ventilasi yang terbaca pada EIT belum tentu berbeda walaupun terjadi penurunan volume tidal regional dan terdapat ketidaksesuaian pada alat EIT dan ventilator, yang harus dinilai adalah pembacaan keduanya dan melakukan dokumentasi pada *trend view* dan Δ EELI *trend view* untuk melihat perubahan warna yang menunjukkan peningkatan atau penurunan distribusi. Namun perubahan warna sendiri hanya bisa menunjukkan peningkatan atau penurunan distribusi pada setiap ROI dari waktu pengukuran saat ini dibanding dengan waktu sebelumnya dan bukan untuk menilai luas kolaps paru secara absolut.¹²⁻¹⁴

Keempat, penelitian Costa dkk¹¹ mempunyai kelemahannya tersendiri. Semua perhitungan diasumsikan bahwa *driving pressure* pada saat *opening pressure* merupakan pengganti yang baik untuk *local transpulmonary driving pressure*. Komplians dinding dada juga diasumsikan tidak berubah. Selain itu ada pertimbangan *intra-voxel heterogenities*, yaitu voxel yang mengandung alveolus yang terbuka dan kolaps pada saat bersamaan. Lalu, penilaian EIT tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah udara tetapi juga kandungan cairan toraks. EIT tidak mampu menghitung jumlah pasti alveolus yang kolaps, dan perhitungan ini diasumsikan aerasi 100% setelah *maximal recruitment maneuver*.

Penelitian Costa dilakukan pada pasien yang sebelumnya sudah mengalami ARDS, sehingga dengan pemberian PEEP akan jelas terlihat gambaran atelektasis dan perubahan distribusi ventilasi. Sementara penelitian yang akan peneliti lakukan pada pasien sehat dengan asumsi tidak terdapat atelektasis pada saat awal pembiusan dan atelektasis yang mungkin terjadi bukan merupakan lobar atelektasis sehingga mungkin tidak terlihat gambaran atelektasis pada paru dan harus membandingkannya dengan perubahan warna pada *trend view* dan Δ EELI *trend view* yang menunjukkan perubahan distribusi ventilasi dari waktu sebelumnya.

Kelima, EIT merupakan alat noninvasif dan nonradial yang relatif aman untuk digunakan. Tetapi penggunaannya selama intraoperasi akan terganggu oleh penggunaan kauter. Sehingga untuk pemantauan intraoperasi alat ini menjadi kurang efektif.

Keenam, penelitian ini peneliti memberikan volume tidal sesuai berat badan pasien sementara pengawasan intraoperasi hanya mengandalkan pembacaan volume tidal dari ventilator sehingga tidak diketahui apabila terjadi hipoventilasi pada pasien. Lebih baik jika pada saat penelitian digunakan pengawasan menggunakan *end-tidal* CO₂ untuk memastikan tidak terjadi hipoventilasi.

Ketujuh, penelitian ini pengambilan data dilakukan saat intraoperasi saja sehingga tidak diketahui perjalanan pasien sampai ke ruang pemulihan dan di ruangan. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat periksa dan lama rawat inap pascaoperasi untuk pasien operasi mata elektif tanpa penyulit perioperasi. Sehingga untuk menilai angka kejadian PPCs pada pasien ini menjadi sulit. Sebaiknya memang perjalanan pasien diikuti sampai pasien dibolehkan pulang sehingga didapatkan data tambahan mengenai PPCs pada pasien dan dapat menghubungkannya dengan luas kolaps paru yang terjadi intraoperasi.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi awal penelitian untuk penilaian kolaps paru intraoperasi untuk nantinya dapat dilakukan manuver-manuver ventilasi mekanik yang efektif pada pasien sehingga dapat menurunkan angka persentase kolaps yang terjadi dan menurunkan angka PPCs.

Simpulan

Tidak terdapat perbedaan luas kolaps paru secara bermakna pada pasien tanpa faktor prediktor PPCs dan faktor komorbid dengan durasi anestesia lebih dari 2 jam dan kurang dari 2 jam. Faktor prediktor lain dan faktor komorbid memegang peranan penting untuk menentukan luas kolaps paru yang terjadi intraoperasi. Tindakan anestesia dan durasi anestesia sendiri akan menyebabkan perubahan dari distribusi ventilasi. Namun distribusi ventilasi tidak selalu menyebabkan peningkatan luas kolaps paru yang terjadi karena luas kolaps paru bergantung bukan hanya distribusi ventilasi tetapi juga perubahan dari *driving pressure*.

Daftar Pustaka

1. Degani-Costa LH, Faresin SM, Falcao LF. Preoperative evaluation of the patient with pulmonary disease. *Brazilian J Anesthesiol.* 2014;64:22–34.
2. Hedenstierna G. *Respiratory physiology.* Dalam: Miller's Anesthesia, edisi ke-7. Philadelphia: Churchill Livingstone Elsevier; 2010, hlm. 361-89.
3. Tusmana G, Bohm SH, Warner DO, Sprung J. Atelectasis and perioperative pulmonary complications in high-risk patients. *Curr Opin Anesthesiol.* 2012; 25: 1–10
4. Pelosi P, Gregoretti C. Perioperative respiratory Complications and the Post-operative consequences-atelectasis and risk factors. *Euro Crit Care and Emerg Med* 2009.
5. Maceiras PR. Peri-Operative Atelectasis and Alveolar Recruitment Manoeuvres. *Arch Bronconeumol.* 2010;46(6):317–324
6. Scholes RL, Browning L, Sztendur EM, Denehy L. Duration of anesthesia, type of surgery, respiratory co-morbidity, predicted VO₂max and smoking predict postoperative pulmonary complications after upper abdominal surgery: an observational study. *Austral J Physiotherapy.* 2009;55: 191–8.
7. Sogame LCM, Vidotto MC, Jardim JR, Faresin SM. Incidence and risk factors for postoperative pulmonary complications in elective intracranial surgery. *J Neurosurg.*

- 2008 Aug;109(2):222–7.
8. Canet J, Gallart L, Gomar C, Paluzie G, Valles J, Castillo J, dkk. Prediction of Postoperative Pulmonary Complications in a Population-based Surgical Cohort. *Anesthesiology* 2010; 113(6):338–50.
 9. Talab HF, Zabani IA, Abdelrahman HS, Bukhari WL, Mamoun I, Ashour MA, Sadeq B, Sayed SIE. Intraoperative ventilatory strategies for prevention of pulmonary atelectasis in obese patients undergoing laparoscopic bariatric surgery. *Anesth Analg*. 2009; 109 (5): 1511–16.
 10. Reinius H, Jonnson L, Gustaffson S, Sundborn M, Duvernoy O, Pelosi P, dkk. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis—a computerized tomography study. *Anesthesiology*. 2009;111:979–87.
 11. Costa ELV, Borges JB, Melo A, Sipman FS, Junior CT, Bohm SH dkk. Bedside estimation of recruitable alveolar collapse and hyperdistension by electrical impedance tomography. *Intens Care Med*. 2009;35:1132–7.
 12. Moerer O, Hahn G, Quintel M. Lung impedance measurements to monitor alveolar ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2011;17:260–7.
 13. Blankman P, Gommers D. Lung monitoring at the bedside in mechanically ventilated patients. *Curr Opin Crit Care* 2012;18: 261–6.
 14. Muders T, Luepschen H, Putensen C. Impedance tomography as a new monitoring technique. *Curr Opin Crit Care* 2010; 16: 269–75.
 15. Stoelting RK, Hiller SC. The lungs. Dalam: Penyunting. Brown B, Murphy F. *Pharmacology and physiology in anesthetic practice*, edisi ke- 4. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2006, hlm. 771–82.
 16. Davison R, Cottle D. The effect of anesthesia on respiratory function. *ATOTW*. 2010