

Perbandingan Nilai PETCO₂ dan PACO₂ pada Pasien dengan Pemasangan Ventilasi Mekanik

Baskoro Soetioputro, F. Sri Susilaningsih, Titin Mulyati
Fakultas Keperawatan Universitas Padjadjaran
Email: susilaningsih.sri@gmail.com

Abstrak

Pasien dengan ventilasi mekanik perlu dilakukan pemantauan CO₂ karena berperan penting pada regulasi pernapasan dan keseimbangan asam-basa tubuh. Pemantauan CO₂ dapat dilakukan dengan mengukur PaCO₂ melalui analisis gas darah arteri. Pengukuran PaCO₂ tidak dapat dilakukan secara kontinu sehingga perlu sering dilakukan pengambilan darah arteri yang dapat menimbulkan komplikasi. Pengukuran PETCO₂ dapat memantau CO₂ secara kontinu dan non invasif. PETCO₂ adalah tekanan parsial CO₂ ekspirasi yang diukur pada saat akhir volume tidal pernapasan. Penelitian ini bertujuan membandingkan nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik di ruang GICU RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Rancangan penelitian yang digunakan adalah *prospective cross sectional*. Pemilihan sampel dilakukan secara consecutive sampling. Penelitian dilakukan terhadap 21 pasien yang menggunakan ventilasi mekanik di ruang GICU RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Data PETCO₂ dicatat pada saat perawat mengambil sampel darah arteri untuk pemeriksaan analisis gas darah. Didapatkan 122 pasang data nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Data yang diperoleh dianalisis dengan Bland-Altman plot. Hasil penelitian nilai PETCO₂ berada pada rentang 14-67 mmHg dan nilai PaCO₂ berada pada rentang 17-77 mmHg. Bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂ adalah -4,6475 mmHg lebih rendah daripada estimasi nilai bias ± 5 mmHg sehingga bisa diterima secara klinik. Presisi nilai PETCO₂ adalah 12,7969 mmHg (*limit of agreement* = 1,7509; -11,0460) lebih tinggi daripada estimasi nilai presisi ± 5 mmHg sehingga tidak bisa diterima secara klinik. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pengukuran PETCO₂ tidak dapat menggantikan pengukuran PaCO₂, tetapi pengukuran PETCO₂ dapat digunakan untuk memperkirakan nilai PaCO₂ pasien dengan ventilasi mekanik.

Kata kunci: PETCO₂, PaCO₂, ventilasi mekanik.

Comparison of PETCO₂ and PACO₂ Values in Patients with Mechanical Ventilation

Abstract

Patients with mechanical ventilation need to be monitored for the CO₂ value because it has an important role in regulation of respiration and body acid-base equilibrium. Monitoring of CO₂ can be done by measuring PaCO₂ through arterial blood gas analysis. Measurement of PaCO₂ could not be done continuously so that the arterial blood are needed to be taken quite often which could cause complication. The measurement of PETCO₂ can monitor the CO₂ continuously and non-invasively. PETCO₂ is partial pressure of CO₂ expiration that is measured at the end of respiration tidal volume. This study aimed to compare the PETCO₂ value and PaCO₂ in patients with mechanical ventilation in GICU Dr. Hasan Sadikin Hospital. The research design was prospective cross-sectional using consecutive sampling method. The total sample was 21 patients who used mechanical ventilator in GICU Dr. Hasan Sadikin Hospital Bandung. The PETCO₂ data were recorded when the patients' arterial blood sample were taken for blood gas analysis test. The total of 122 pair date of PETCO₂ and PaCO₂ values were recorded. The data were analyzed using Bland-Altman plot. The results showed that the PETCO₂ value ranged from 14 – 67 mmHg and the PaCO₂ values ranged from 17 – 77 mmHg. The deviation of PETCO₂ and PaCO₂ was -4.6475 mmHg, which is lower than the estimation of ± 5 mmHg deviation, therefore the PETCO₂ measurement can be accepted clinically. The precision of PETCO₂ was 12.7969 mmHg (*limit of agreement* = 1.7509; -11.0460) which is higher than the estimation of precision value of ± 5 mmHg, therefore it cannot be accepted clinically. In conclusion, the PETCO₂ measurement could not replace the PaCO₂ measurement, however, PETCO₂ measurement can be used to predict the value of PaCO₂ for patients with mechanical ventilation.

Keywords: Mechanical ventilation, PETCO₂, PaCO₂.

Pendahuluan

Ventilasi mekanik merupakan salah satu bentuk terapi yang sering diberikan kepada pasien kritis di ruang perawatan intensif (Grossbach, Chlan, & Tracy, 2011). Ventilasi mekanik adalah mesin yang digunakan untuk memasukkan dan mengeluarkan udara pernapasan ke dalam paru-paru. Ventilasi mekanik berfungsi untuk menormalkan nilai gas darah arteri dan keseimbangan asam basa, serta berfungsi menurunkan kerja pernapasan pasien dengan memberikan bantuan ventilasi yang disesuaikan dengan kebutuhan pasien (Papadakos & Lachmann, 2008; Loscalzo, 2010). Dalam terapi pasien kritis ventilasi mekanik berfungsi sebagai terapi suportif. Ventilasi mekanik tidak menghilangkan penyebab dari masalah yang diderita oleh pasien.

Kabondioksida (CO₂) merupakan salah satu hal penting yang harus dipantau pada pasien dengan ventilasi mekanik. CO₂ berperan penting pada regulasi pernapasan karena merupakan pengatur pernapasan yang lebih kuat daripada O₂. Peningkatan tekanan parsial CO₂ (PCO₂) akan merangsang pernapasan melalui kemoreseptor di medula oblongata, sedangkan penurunan PCO₂ dapat menyebabkan penurunan atau hilangnya rangsangan untuk bernapas (Guyton & Hall, 2006; Price & Wilson, 2006). Peningkatan PCO₂ di atas normal juga dapat menyebabkan kerugian pada pasien. Peningkatan PCO₂ alveolar 60–75 mmHg akan menyebabkan pasien bernapas secepat dan sedalam mungkin (dyspnea). Peningkatan PCO₂ alveolar 80–100 mmHg menyebabkan pasien menjadi letargik atau semikoma, sedangkan peningkatan PCO₂ alveolar 120–150 mmHg dapat menyebabkan kematian. Pada tingkat ini CO₂ tidak lagi merangsang pernapasan tetapi akan mendepresi pernapasan. Hal ini akan menyebabkan penumpukan CO₂ yang akan semakin mendepresi pernapasan sehingga dapat menyebabkan kematian (Guyton & Hall, 2006).

Homeostasis CO₂ sangat memengaruhi keseimbangan asam basa tubuh. Peningkatan konsentrasi CO₂ menyebabkan peningkatan H₂CO₃ yang kemudian berubah menjadi ion hidrogen (H⁺) dan bikarbonat (HCO₃⁻). Peningkatan konsentrasi ion hidrogen akan

menyebabkan penurunan pH. Penurunan pH sampai kurang dari 7,35 disebut sebagai asidosis. Penurunan CO₂ akan menyebabkan penurunan jumlah H₂CO₃. Penurunan H₂CO₃ akan menyebabkan penurunan jumlah ion hidrogen sehingga meningkatkan pH. Peningkatan pH melebihi 7,45 disebut sebagai alkalosis (Price & Wilson, 2006; Guyton & Hall, 2006; Tortora & Derrickson, 2012).

Analisis gas darah arteri merupakan cara terbaik (*gold standard*) untuk mengukur PCO₂ pasien (Hall, 2009). Analisis gas darah arteri dapat menentukan nilai tekanan parsial CO₂ darah arteri (PaCO₂). Pengambilan sampel darah dilakukan secara invasif dengan penusukan pada pembuluh darah arteri atau melalui kateter arteri (Dev, Hillmer, & Ferri, 2011; Woodrow, 2009). Pada pasien yang tidak terpasang kateter arteri pemantauan PaCO₂ tidak bisa dilakukan secara kontinu sehingga perlu sering dilakukan penusukan pembuluh darah arteri.

Tindakan penusukan pembuluh darah arteri dapat menyebabkan beberapa komplikasi seperti nyeri, perdarahan, atau kerusakan arteri yang dapat mengakibatkan gangguan perfusi jaringan (Dev, Hillmer, & Ferri, 2011). Leone, Misuri, dan Console (2009) melaporkan terjadinya kasus pseudo aneurisma setelah dilakukan pengambilan darah arteri melalui arteri radialis. Kasus ini mungkin disebabkan kompresi yang tidak tepat atau kompresi yang terlalu singkat setelah tindakan. Aaron *et al.* (2003) melaporkan bahwa penggunaan tetracaine gel tidak menurunkan persepsi nyeri pasien terhadap tindakan pengambilan darah arteri. Pengambilan darah arteri radialis dengan panduan ultrasonografi juga tidak memengaruhi nyeri pasien, angka komplikasi, dan kepuasan petugas atau pasien (Bobbia *et al.*, 2013). Dari semua komplikasi tersebut, nyeri merupakan komplikasi utama dari tindakan penusukan pembuluh darah arteri untuk pengambilan sampel darah.

Pemeriksaan analisis gas darah arteri pada pasien yang tidak terpasang kateter arteri tidak dapat memantau nilai PaCO₂ secara kontinu. Nilai PaCO₂ yang diperoleh dari analisis gas darah adalah nilai PaCO₂ pasien pada saat diambil sampel darah arteri. Pemeriksaan analisis gas darah arteri tidak dapat memantau

perubahan PaCO₂ yang terjadi secara cepat sehingga petugas kesehatan tidak dapat segera melakukan evaluasi terhadap kondisi pasien dan melakukan tindakan yang tepat (Papadacos & Lachmann, 2008; Smeltzer *et al.*, 2010).

Pengukuran PCO₂ dapat dilakukan secara non invasif dengan mengukur end tidal CO₂ (PETCO₂). PETCO₂ adalah tekanan parsial CO₂ ekspirasi yang diukur pada saat akhir volume tidal pernapasan. PETCO₂ dapat mengukur PCO₂ pasien secara kontinu, sedangkan PaCO₂ hanya dapat mengukur nilai PCO₂ pada saat sampel darah arteri diambil. Pemantauan PETCO₂ dapat mengurangi frekuensi pengambilan sampel darah arteri untuk analisis gas darah sehingga mengurangi komplikasi yang terjadi. Pemantauan nilai PETCO₂ secara kontinu memungkinkan petugas kesehatan untuk dapat segera mengambil keputusan klinis jika terjadi perubahan kondisi pasien. Tetapi PETCO₂ masih jarang digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan klinis. Hasil penelitian tentang ketepatan penggunaan PETCO₂ masih belum jelas (Bongard, Sue, & Vintch, 2008; Martin, 2009; Hall, 2009).

Perawat merupakan bagian penting dalam pelayanan kesehatan yang bertanggung jawab mengatasi masalah pasien dengan pemasangan ventilasi mekanik (Grossbach, Chlan, & Tracy, 2011). Perawat bertanggung jawab terhadap hal ini karena merupakan petugas kesehatan yang merawat pasien selama 24 jam (Urden, Stacy, & Lough, 2006). Pasien dengan ventilasi mekanik perlu dilakukan pemantauan nilai PCO₂ sebagai evaluasi terhadap keberhasilan terapi (Papadacos & Lachmann, 2008). Salah satu metode pemantauan PCO₂ adalah dengan melakukan pemeriksaan PaCO₂ pada darah arteri. Tetapi pengambilan darah arteri dapat menimbulkan beberapa komplikasi seperti nyeri, perdarahan, atau kerusakan arteri yang dapat mengakibatkan gangguan perfusi jaringan (Dev, Hillmer, & Ferri, 2011). Pemeriksaan PETCO₂ dapat mengukur nilai PCO₂ secara non invasif sehingga mengurangi komplikasi karena pengambilan darah arteri. Pemeriksaan PETCO₂ juga memungkinkan perawat memantau perubahan PCO₂ secara kontinu sehingga dapat segera melakukan

evaluasi terhadap perubahan kondisi pasien.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk meneliti perbandingan nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik di Ruang GICU RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Pada penelitian ini akan dianalisis bias dan presisi antara PETCO₂ dengan PaCO₂. Bias adalah rerata perbedaan nilai pengukuran PETCO₂ dengan PaCO₂, sedangkan presisi adalah tingkat kesamaan hasil pada pengukuran PETCO₂ secara berulang (Hanneman, 2008). Peneliti juga menganalisis hasil penelitian sehingga dapat ditentukan tingkat kesesuaian PETCO₂ sebagai alternatif pengganti pemeriksaan PaCO₂.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian *cross sectional* yang dilakukan pada tanggal 15 sampai dengan 26 Januari 2015 di ruang GICU RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung. Pengambilan data dilakukan secara prospektif pada semua pasien dengan pemasangan ventilasi mekanik di Ruang *General Intensive Care Unit* (GICU) RSUP dr. Hasan Sadikin Bandung. Penelitian dilakukan setelah mendapatkan persetujuan etik dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan FK UNPAD.

Pengamatan nilai PETCO₂ dilakukan dengan menggunakan capnostaf mainstream merk GE yang terpasang pada bagian distal ETT. Pencatatan nilai PETCO₂ dilakukan pada saat perawat melakukan pengambilan sampel darah arteri. Sampel darah arteri dianalisis dengan alat analisis gas darah merk Radiometer Copenhagen ABL 5. Sebelum dilakukan pengambilan darah arteri, peneliti melakukan pengkajian terhadap *airway clearance* pasien dan jika diperlukan akan dilakukan penghisapan sekret. Peneliti mengkaji sensor capnostat dan membersihkan jika terjadi pengembunan atau penumpukan cairan. Peneliti melakukan zeroing dan kalibrasi terhadap capnostat untuk memastikan alat berfungsi dengan baik. Peneliti juga melakukan pengukuran tekanan darah responden dan mencatat tanda-tanda vital dan mode ventilasi mekanik yang digunakan oleh pasien.

Pencatatan nilai PETCO₂ dilakukan pada saat perawat melakukan pengambilan sampel darah arteri. Perawat melakukan analisis gas darah dengan alat analisis gas darah merk Radiometer Copenhagen ABL 5. Nilai PaCO₂ hasil analisis gas darah arteri dicatat pada lembar observasi.

Data yang diperoleh diuji dengan Bland-Altman plot. Bland-Altman plot direkomendasikan untuk mengetahui tingkat kesesuaian (*limit of agreement*) antara metode pengukuran berbeda yang mengukur hal yang sama (Zou, 2011; Hanneman, 2008; Cartensens, 2010; Bland & Altman, 2006). Hasil uji Bland-Altman plot menghasilkan nilai bias dan presisi pengukuran PETCO₂ dibandingkan dengan PaCO₂. Bias adalah rerata perbedaan nilai pengukuran PETCO₂ dengan PaCO₂, sedangkan presisi adalah tingkat kesamaan hasil pada pengukuran secara berulang (Hanneman, 2008; Bland & Altman, 2006). Dalam penelitian ini ditentukan bias dengan estimasi tidak melebihi

± 5 mmHg dan presisi dengan estimasi tidak melebihi ± 5 mmHg. Uji Bland-Altman plot dilakukan dengan menggunakan program MedCalc dengan *confidence interval* 95%.

Hasil Penelitian

Penelitian ini didapatkan 122 pasang data nilai PETCO₂ dan PaCO₂ dari 21 pasien. Nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien berubah mengikuti kondisi pasien saat pengukuran.

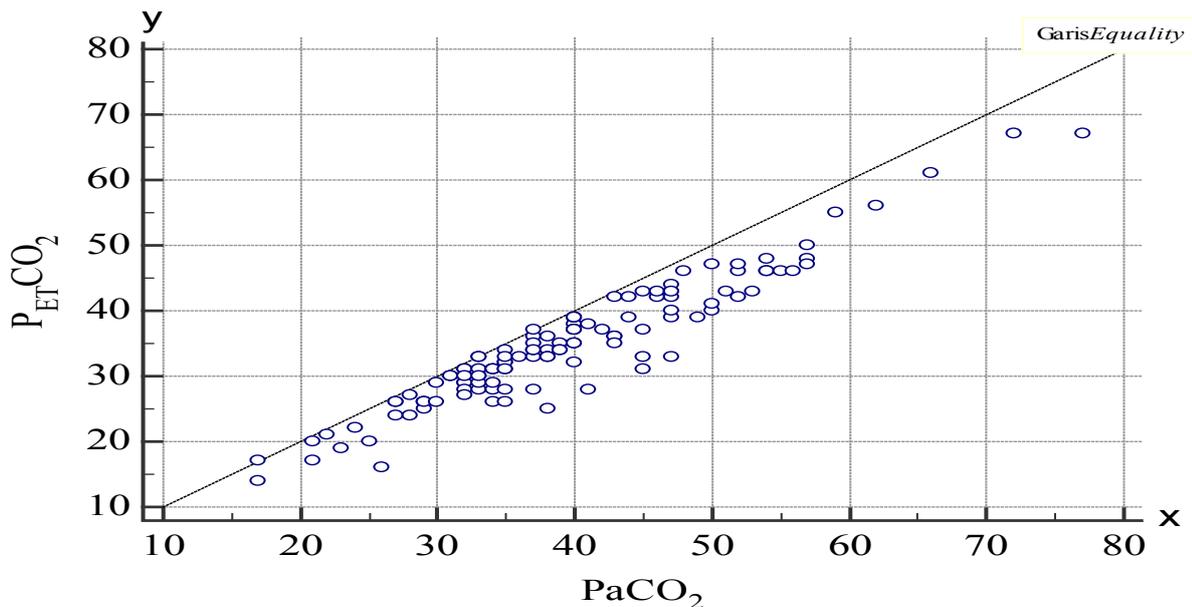
Nilai PETCO₂ berada pada rentang 14–67 mmHg dan nilai PaCO₂ berada pada rentang 17–77 mmHg berarti pasien penelitian telah mencakup kondisi di atas normal (>45 mmHg), normal (35–45 mmHg), dan bawah normal (<35 mmHg).

Analisis bivariat dilakukan dengan Bland-Altman plot menggunakan program Medcalc. Analisis Bland-Altman plot dilakukan sesuai langkah-langkah menurut Hanneman (2008).

Gambar 1 menunjukkan diagram scatter nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Pada diagram tersebut

Tabel 1 Nilai PETCO₂ dan PaCO₂

	N	Range	Minimum	Maksimum
PETCO ₂	122	53,00	14,00	67,00
PaCO ₂	122	60,00	17,00	77,00



Gambar 1 Diagram Scatter Nilai PETCO₂ dan PaCO₂.

tampak bahwa nilai PETCO₂ dan PaCO₂ berada di dekat garis equality tetapi tidak semua data berada tepat di atas garis equality. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat beberapa derajat ketidaksesuaian antara nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Diagram juga menunjukkan hubungan yang positif antara PETCO₂ dan PaCO₂ yang berarti semakin besar nilai PaCO₂ maka nilai PETCO₂ juga akan semakin besar.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai p adalah 0,000 sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi bermakna antara nilai PETCO₂ dan PaCO₂ karena $p < 0,005$. Nilai korelasi 0,954 menunjukkan terdapat korelasi yang sangat kuat antara nilai PETCO₂ dan PaCO₂ dengan arah korelasi positif. Hal ini berarti semakin besar nilai PaCO₂ maka nilai PETCO₂ juga akan semakin besar. Penghitungan bias dan presisi nilai PETCO₂ dan PaCO₂ dianalisis dengan menggunakan Bland-Altman plot. Analisis Bland-Altman plot dilakukan dengan menyusun sebuah grafik. Pada grafik ini selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ dibandingkan dengan nilai PaCO₂ yang merupakan gold standar dari pemeriksaan PCO₂. Pada grafik juga digambarkan garis horizontal yang menunjukkan rerata selisih

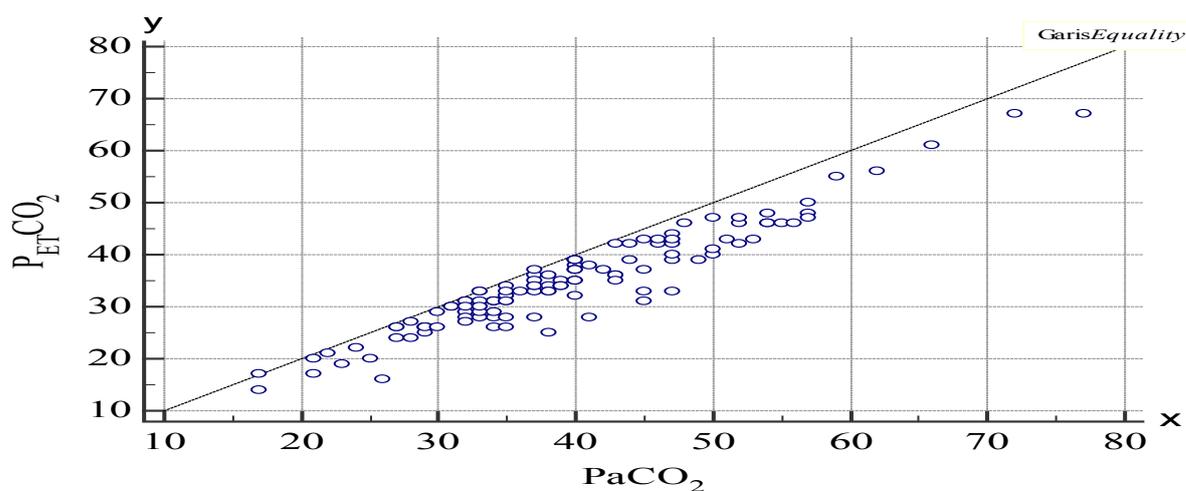
kedua pengukuran, serta batas atas dan batas bawah limit of agreement.

Gambar 2 menunjukkan Bland-Altman plot nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Garis x menunjukkan rentang nilai PaCO₂ yang merupakan gold standard pemeriksaan PCO₂ pasien. Nilai PaCO₂ berada pada rentang antar 15–80 mmHg. Garis y menunjukkan hasil nilai PETCO₂ dikurangi PaCO₂ yang berada pada rentang 0 sampai dengan -15 mmHg. Tidak terdapat nilai selisih di atas 0 sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai PETCO₂ tidak pernah melebihi nilai PaCO₂. Lambang-lambang (segitiga, kotak, bintang, dll) menunjukkan pasien dalam penelitian. Lambang yang sama tergambar beberapa kali menunjukkan bahwa pasien yang sama memiliki hasil nilai PETCO₂ dikurangi PaCO₂ berbeda pada pengukuran yang dilakukan secara berulang.

Tabel 3 menunjukkan hasil uji Bland-Altman plot nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Dari table tersebut dapat diketahui bahwa bias nilai PETCO₂ dibandingkan dengan nilai PaCO₂ (mean aritmatik) adalah -4,6475. Hal ini berarti bahwa rata-rata nilai PETCO₂ lebih kecil 4,6475 mmHg daripada nilai PaCO₂. Nilai bias ini kurang dari nilai estimasi bias

Tabel 2 Hasil Uji Korelasi Pearson Nilai PETCO₂ dan PaCO₂

Variabel	N	Korelasi Pearson	P Value
PETCO ₂ & PaCO ₂	122	0,954	0,000



Gambar 2 Bland-Altman plot nilai PETCO₂ dan PaCO₂.

Tabel 3 Hasil Uji Bland-Altman Plot Nilai PETCO₂ dan PaCO₂

	Nilai
N	122
Mean Aritmatik (Bias)	-4,6475
Standar Deviasi	3,2645
Batas Bawah <i>Limit of Agreement</i>	-11,0460
Batas Atas <i>Limit of Agreement</i>	1,7509

±5 mmHg, sehingga bisa diterima secara klinis.

Tabel 3 juga menunjukkan *limit of agreement* (tingkat kesesuaian) nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Batas atas *limit of agreement* PETCO₂ dan PaCO₂ adalah 1,7509 mmHg, sedangkan batas bawahnya adalah -11,0460 mmHg. Hal ini berarti bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂ berada diantara nilai 1,7509 mmHg dan -11,7509 mmHg. Jika dilakukan pengukuran PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik, maka selisih nilai PETCO₂ dikurangi PaCO₂ adalah antara 1,7509 mmHg dan -11,7509 mmHg.

Nilai presisi dapat diperoleh dengan cara nilai batas atas *limit of agreement* dikurangi dengan nilai batas bawah *limit of agreement* (1,7509-(-11,0460)) sehingga didapatkan nilai presisi 12,7969 mmHg. Hal ini menunjukkan terdapat variansi yang besar pada bias nilai PETCO₂ dibandingkan nilai PaCO₂. Hasil ini melebihi nilai estimasi presisi ±5 mmHg sehingga bermakna secara klinis.

Peneliti menentukan nilai estimasi bias ±5 mmHg dan presisi ±5 mmHg. Hasil penelitian menunjukkan nilai bias -4,6475 mmHg dan presisi 12,7969 mmHg. Walaupun nilai bias lebih kecil daripada nilai estimasi bias, tetapi nilai presisi melebihi nilai estimasi presisi, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai PETCO₂ tidak dapat menggantikan nilai PaCO₂.

Pembahasan

Diagram scatter nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa bahwa nilai PETCO₂ dan PaCO₂ berada di dekat garis *equality* tetapi tidak semua data berada tepat di atas garis *equality*. Hal ini menunjukkan bahwa nilai PETCO₂ dan PaCO₂ tidak tepat sama atau sesuai. Pengujian korelasi dengan

uji korelasi Pearson menunjukkan terdapat korelasi bermakna antara nilai PETCO₂ dan PaCO₂ (p= 0,000). Nilai PETCO₂ dan PaCO₂ memiliki korelasi sangat kuat dengan arah positif (r= 0,954). Hasil ini berarti jika nilai PaCO₂ semakin besar maka nilai PETCO₂ juga akan semakin besar.

Hasil tersebut sesuai dengan hasil penelitian Razi *et al.* (2012). Razi *et al.* (2012) melakukan penelitian tentang korelasi PETCO₂ dengan PaCO₂ pasien dengan ventilasi mekanik. Pada mode ventilasi mekanik SIMV didapatkan korelasi sangat kuat dengan arah positif (p<0,0001; r=0,893). Pada mode CPAP didapatkan korelasi sangat kuat dengan arah positif (p<0,0001; r= 0,841). Sedangkan pada T-Tube didapatkan korelasi sangat kuat dengan arah positif (p< 0,0001; r= 0,923).

Hasil penelitian yang menunjukkan adanya korelasi sangat kuat dengan arah positif tidak bisa dijadikan dasar untuk menggunakan nilai PETCO₂ untuk menggantikan nilai PaCO₂. Terdapat perbedaan antara korelasi dengan tingkat kesesuaian. Tingkat kesesuaian yang sempurna hanya terjadi jika semua data tepat berada pada garis *equality*, sedangkan korelasi yang kuat dapat terjadi jika data terdapat pada garis manapun selama garis tersebut sejajar dengan garis *equality*. Besar nilai pengukuran juga tidak memengaruhi korelasi. Jika suatu kelompok data dilakukan uji korelasi dengan kelompok data tersebut dikalikan 2, maka akan didapatkan nilai korelasi 1,0 (Bland & Altman, 2006). Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahui tingkat kesesuaian nilai PETCO₂ dengan PaCO₂.

Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara nilai PETCO₂ dan PaCO₂ dilakukan uji dengan Bland-Altman plot. Hasil pengujian menunjukkan bias nilai PETCO₂ dibandingkan PaCO₂ adalah -4,6475 mmHg.

Selisih pengukuran nilai PCO₂ ≤ ±5 mmHg dapat diterima secara klinik (clinically acceptable) (Tingay, Mun, & Perkins, 2013; Tingay, Stewart, & Morley, 2005; McCormack, Kelly, Wegdwood, & Lyon, 2008). Nilai estimasi bias yang ditetapkan peneliti adalah ±5 mmHg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bias tidak melebihi nilai estimasi bias, sehingga bias nilai PETCO₂ dibandingkan PaCO₂ bisa diterima secara klinik.

Perubahan PCO₂ dapat memengaruhi keseimbangan asam basa pasien. Penurunan PCO₂ 1 mmHg akan meningkatkan pH sebesar 0,01, sedangkan penurunan PCO₂ sebesar 10 mmHg akan menaikkan pH sebesar 0,1. Peningkatan PCO₂ sebesar 1 mmHg akan menurunkan pH sebesar 0,006, sedangkan peningkatan PCO₂ sebesar 10 mmHg akan menurunkan pH sebesar 0,06 (Malley, 2005). Bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂ sebesar -4,6475 mmHg tidak akan menyebabkan perubahan yang besar pada keseimbangan asam basa pasien.

Perubahan PCO₂ juga dapat memengaruhi pernapasan pasien. Peningkatan PCO₂ alveolar 60–75 mmHg akan menyebabkan pasien bernapas secepat dan sedalam mungkin (dyspnea). Peningkatan PCO₂ alveolar 80–100 mmHg menyebabkan pasien menjadi letargik atau semikoma, sedangkan peningkatan PCO₂ alveolar 120–150 mmHg dapat menyebabkan kematian. Pada tingkat ini CO₂ tidak lagi merangsang pernapasan tetapi akan mendepresi pernapasan. Hal ini akan menyebabkan penumpukan CO₂ yang akan semakin mendepresi pernapasan sehingga dapat menyebabkan kematian (Guyton & Hall, 2006). Peningkatan PCO₂ akan dikompensasi tubuh untuk meningkatkan pengeluaran CO₂ dari dalam tubuh. Diperlukan peningkatan PCO₂ yang besar untuk dapat menyebabkan dampak yang membahayakan bagi pasien. Bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂ sebesar -4,6475 mmHg tidak akan memberikan dampak yang membahayakan pada regulasi pernapasan pasien.

Bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂ paling kecil jika terjadi keseimbangan ventilasi dan perfusi alveolar (Martin, 2009; Linda, 2010; Guyton & Hall, 2006). Jika ventilasi alveolar normal, penurunan perfusi alveolar

akan menyebabkan CO₂ tidak bisa diangkut ke paru-paru sehingga tidak bisa dikeluarkan melalui paru-paru. Jika perfusi alveolar normal, penurunan ventilasi alveolar menyebabkan CO₂ yang diangkut darah ke alveolar tidak mengalami pertukaran gas dan tidak bisa dikeluarkan melalui paru-paru. Hal tersebut menyebabkan peningkatan PaCO₂ dan penurunan PETCO₂, sehingga meningkatkan bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂.

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Cinar *et al.* (2010) dan Coates *et al.* (2014). Cinar *et al.* (2010) melakukan penelitian yang membandingkan nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pasien dengan dyspnea akut di ruang gawat darurat. Hasil penelitian menunjukkan bias -0,5 mmHg. Coates *et al.* (2014) melakukan penelitian yang membandingkan nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada bayi dengan usia <1 tahun yang tidak diintubasi dan tidak memerlukan ventilasi mekanik non invasif di ruang PICU. Hasil penelitian menunjukkan bias -2,7 mmHg. Bias nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada penelitian ini (-4,6475 mmHg) lebih besar daripada bias pada penelitian Cinar *et al.* (2010) dan Coates *et al.* (2014). Pasien pada penelitian Cinar *et al.* dan Coates *et al.* memiliki kondisi yang lebih baik daripada pasien dalam penelitian ini oleh karena itu tidak memerlukan ventilasi mekanik, sehingga ketidakseimbangan ventilasi dan perfusi yang terjadi lebih ringan. Hal ini menyebabkan bias antara nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada penelitian Cinar *et al.* dan Coates *et al.* menjadi lebih kecil.

Nilai presisi dari PETCO₂ adalah 12,7969 mmHg (*limits of agreement* = 1,7509; -11,0460). Nilai presisi ini melebihi nilai estimasi presisi ±5 mmHg. Nilai presisi tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran PETCO₂ dibandingkan PaCO₂ yang dilakukan secara berulang menunjukkan variasi data yang terlalu besar untuk diterima secara klinik. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai PETCO₂ tidak dapat digunakan untuk menggantikan nilai PaCO₂.

Nilai presisi PETCO₂ dari penelitian ini sebesar 12,7969 mmHg menunjukkan bahwa repeatability PETCO₂ tidak bisa diterima secara klinik. Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pengukuran secara berulang menunjukkan rentang yang besar yaitu

12,7969 mmHg. Penurunan akut PCO₂ sebesar 10 mmHg akan menaikkan pH sebesar 0,1, sedangkan peningkatan PCO₂ sebesar 10 mmHg akan menurunkan pH sebesar 0,06 (Malley, 2005). Variasi yang besar pada bias pengukuran nilai PETCO₂ dan PaCO₂ dapat disebabkan oleh kondisi pasien yang sangat beragam. Nilai PETCO₂ yang didapatkan dari hasil penelitian ini berada pada rentang antara 14–67 mmHg. Bland-Altman plot juga menunjukkan bahwa bias nilai PETCO₂ dengan PaCO₂ cenderung semakin besar jika nilai pengukuran semakin tinggi. Bias nilai PETCO₂ dengan PaCO₂ yang besar terlihat berada pada nilai pengukuran PaCO₂ >45 mmHg.

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Cinar *et al.* (2010) yang membandingkan nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pasien dengan dyspnea akut di ruang gawat darurat. Penelitian dilakukan pada 162 pasien. Nilai PETCO₂ berada pada rentang 19–82 mmHg, sedangkan nilai PaCO₂ berada pada rentang 16–94 mmHg. Hasil penelitian menunjukkan nilai presisi sebesar 20 mmHg (limits of agreement = -10,5; 9,5).

Mode ventilasi mekanik yang digunakan pasien dalam penelitian adalah CPAP, SIMV, dan IPPV/ CMV. Mode CPAP sebanyak 55 data (69,62%) memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ ≤5 mmHg, dan 24 data (30,38%) memiliki selisih nilai >5 mmHg. Data dengan selisih ≤5 mmHg memiliki rerata usia (55,38 tahun) lebih rendah daripada data dengan selisih >5 mmHg (62,28 tahun). Pada mode CPAP pasien bernapas spontan dan mesin mengalirkan udara secara konstan sesuai dengan tekanan yang telah diprogram (Papadakos & Lachman, 2008). Usia pasien dapat memengaruhi kemampuan pasien dalam bernapas karena pada usia >50 tahun terjadi penurunan fungsi pernapasan yang dipengaruhi oleh proses penuaan. Terjadi penurunan jumlah pertukaran gas, dinding dada dan saluran napas menjadi lebih kaku, serta penurunan kekuatan dan daya tahan otot pernapasan (Kozier, Erb, Berman, & Snyder, 2010). Pada mode CPAP pasien memiliki peran yang sangat besar dalam melakukan usaha pernapasan. Mesin ventilasi mekanik hanya memberikan tekanan udara positif untuk membantu pasien mencapai volume tidal yang sesuai. Kondisi pasien

sangat memengaruhi kesesuaian ventilasi alveolar dengan perfusi alveolar sehingga memengaruhi selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasien dengan rerata usia lebih tua memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg. Kondisi yang disebabkan peningkatan usia dapat menurunkan efektivitas pernapasan dan menurunkan ventilasi alveolar. Hal ini menyebabkan ketidaksesuaian ventilasi dan perfusi alveolar sehingga meningkatkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien yang menggunakan ventilasi mekanik mode CPAP dipengaruhi oleh usia pasien.

Hasil penelitian menunjukkan pada mode SIMV 26 data (70,27%) memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ ≤5 mmHg, sedangkan 11 data (29,73%) memiliki selisih nilai >5 mmHg. Pada data dengan selisih ≤5 mmHg rerata usia (62,63 tahun) lebih tua daripada data dengan selisih >5 mmHg (61,63 tahun). Pada mode SIMV pasien dapat melakukan pernapasan spontan diantara napas yang telah diatur oleh mesin. Napas spontan dapat dilakukan mandiri oleh pasien atau dengan bantuan dari mesin untuk mencapai volume tidal yang dibutuhkan (Papadakos & Lachman, 2008). Pada mode SIMV pasien sudah mulai berperan dalam usaha pernapasan walaupun tidak sebesar pada mode CPAP. Hasil penelitian menunjukkan data dengan rerata usi lebih tua memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg. Penurunan fungsi pernapasan karena peningkatan usia dapat menyebabkan ketidaksesuaian ventilasi alveolar dengan perfusi alveolar sehingga selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ menjadi lebih besar. Jadi dapat disimpulkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pasien dengan ventilasi mekanik mode SIMV dipengaruhi oleh usia pasien.

Rerata frekuensi napas pada data pasien dengan mode CPAP yang memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg (20,67 X/ menit) lebih tinggi daripada rerata frekuensi napas pada data dengan selisih >5 mmHg (19,96 X/menit). Mode SIMV rerata frekuensi napas data dengan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg (25,18 X/ Menit) lebih tinggi daripada data dengan selisih ≤5 mmHg (21,27 X/ menit). Peningkatan frekuensi napas merupakan

usaha kompensasi tubuh terhadap peningkatan kebutuhan O₂ dan respon terhadap gangguan proses pernapasan (Price & Wilson, 2006; Guyton & Hall, 2006; Tortora & Derrickson, 2012). Hasil penelitian menunjukkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg terjadi pada data dengan rerata frekuensi napas lebih tinggi. Hal ini dapat merupakan respon tubuh terhadap gangguan proses pernapasan. Gangguan terhadap proses pernapasan dapat menurunkan ventilasi alveolar dan menyebabkan ketidaksesuaian dengan perfusi alveolar sehingga meningkatkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien yang menggunakan ventilasi mekanik mode CPAP dan SIMV dapat meningkat pada frekuensi pernapasan pasien yang lebih tinggi.

Mode CPAP, selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ > 5 mmHg terjadi pada pasien dengan rerata PEEP lebih tinggi (7,96 cmH₂O) dibandingkan selisih ≤5 mmHg (6,96 cm H₂O). Rerata nilai PEEP data dengan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ > 5 mmHg pada mode SIMV (8,55 cmH₂O) lebih tinggi daripada rerata PEEP pada data dengan selisih ≤5 mmHg (7,65 cmH₂O). Pemberian PEEP yang terlalu tinggi dapat meningkatkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ (Martin, 2009). Pemberian PEEP yang terlalu tinggi dapat meningkatkan tekanan dalam rongga dada. Peningkatan tekanan dalam rongga dada dapat menyebabkan penurunan venous return, sehingga pada akhirnya akan menurunkan stroke volume dari jantung. Jika jantung gagal berkompensasi akan terjadi penurunan sirkulasi dan menurunkan perfusi alveolar (Papadacos & Lachman, 2008; Loscalzo, 2010; Linda, 2010). Hal ini dapat menyebabkan kegagalan pengangkutan CO₂ ke paru-paru sehingga terjadi peningkatan nilai PaCO₂ dan penurunan nilai PETCO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PEEP yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Penggunaan PEEP yang lebih tinggi pada pasien dengan ventilasi mekanik mode CPAP dan SIMV dapat meningkatkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂.

Mode CPAP, dengan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg rerata tekanan darah sistolik (118,67 mmHg) dan diastolik (66,54 mmHg) lebih rendah daripada rerata tekanan

darah sistolik (126,47 mmHg) dan diastolik (70,65 mmHg) data dengan selisih ≤5 mmHg. Rerata denyut jantung (93,17 X/ menit) juga lebih rendah daripada rerata denyut jantung data dengan selisih ≤5 mmHg (102,4 X/ menit). Rerata tekanan darah sistolik (128,64 mmHg) dan diastolik (72,82 mmHg) data pada mode SIMV dengan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg lebih tinggi daripada tekanan darah sistolik (117,81 mmHg) dan diastolik (72,23 mmHg) data dengan selisih ≤5 mmHg. Rerata denyut jantung (102,55 X/ menit) lebih rendah daripada data dengan selisih ≤5 mmHg (109,31 X/ menit).

Kecepatan denyut jantung, stroke volume, dan resistensi pembuluh darah menentukan nilai tekanan darah. Diperlukan tekanan darah yang cukup untuk mempertahankan perfusi alveolar yang baik. Penurunan perfusi alveolar dapat meningkatkan *dead space* pernapasan. Udara yang masuk melalui ventilasi tidak akan mengalami pertukaran gas karena tidak adanya aliran darah di alveolar tersebut (Guyton & Hall, 2006; Price & Wilson, 2006). Hasil penelitian pada mode CPAP dan SIMV menunjukkan bahwa peningkatan tekanan darah atau kecepatan denyut tidak selalu menurunkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Hal ini disebabkan karena selisih nilai nilai PETCO₂ dan PaCO₂ tidak hanya ditentukan oleh perfusi alveolar, tetapi juga dipengaruhi oleh ventilasi alveolar. Walaupun terjadi peningkatan perfusi alveolar, jika tidak sesuai dengan ventilasi alveolar maka selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ akan menjadi lebih besar.

Rerata suhu tubuh pasien dengan CPAP data yang memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg adalah 36,52°C, sedikit lebih rendah daripada data dengan selisih ≤5 mmHg (36,6°C). Data pasien dengan mode SIMV yang memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg memiliki rerata suhu (36,60°C) lebih tinggi daripada data dengan selisih ≤5 mmHg (36,55°C). Suhu tubuh menunjukkan tingkat metabolisme pasien dan dapat memengaruhi produksi CO₂ dan memengaruhi nilai PETCO₂ dan PaCO₂ (Hennesey & Japp, 2007; Guyton & Hall, 2006). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu tubuh yang lebih tinggi tidak selalu meningkatkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Penurunan atau peningkatan

metabolisme yang memengaruhi produksi CO₂, tidak akan memperbesar selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ jika terjadi keseimbangan antara perfusi dan ventilasi alveolar.

Semua data (6 data) pada pasien yang sedang menggunakan ventilasi mekanik mode IPPV/ CMV memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ ≤5 mmHg. Rerata usia 40,67 tahun, frekuensi napas 15,5 X/ menit, PEEP 6,5 cmH₂O, tekanan darah sistolik 111,67 mmHg, denyut jantung 104 X/ menit, suhu 37,23°C. Mode IPPV/CMV pasien bergantung sepenuhnya pada mesin ventilasi mekanik. Seluruh usaha pernapasan pasien dikendalikan oleh mesin ventilasi mekanik (Papadakos & Lachman, 2008). Ketepatan pengaturan program ventilasi mekanik yang sesuai dengan kebutuhan pasien menentukan keseimbangan ventilasi dan perfusi alveolar. Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ ≤5 mmHg menunjukkan bahwa pengaturan program ventilasi telah sesuai dengan kebutuhan pasien.

Rerata usia data pada pasien dengan mode IPPV/ CMV adalah 40,67 tahun, jauh lebih muda daripada rerata usia pasien dengan CPAP dan SIMV. Pertambahan usia dapat memengaruhi fungsi pernapasan. Pada usia >50 tahun terjadi penurunan fungsi pernapasan yang dipengaruhi oleh proses penuaan. Terjadi penurunan jumlah pertukaran gas, dinding dada dan saluran napas menjadi lebih kaku, serta penurunan kekuatan dan daya tahan otot pernapasan (Kozier, Erb, Berman, & Snyder, 2010). Kondisi tersebut dapat menyebabkan penurunan ventilasi alveolar sehingga tidak sesuai dengan perfusi alveolar dan menyebabkan peningkatan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Pada usia yang lebih muda hal tersebut tidak terjadi sehingga ventilasi alveolar sesuai dengan perfusi alveolar dan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ menjadi kecil.

Ada beberapa jenis penyakit yang ditemukan dalam penelitian ini antara lain 6 orang dengan penyakit jantung dan sirkulasi, 5 orang dengan penyakit paru, 4 orang dengan penyakit syaraf, 3 orang dengan penyakit pencernaan, 2 orang dengan penyakit ginjal, dan 1 orang dengan kasus kebidanan. Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ >5 mmHg terdapat pada semua kasus

penyakit kecuali kebidanan. Keseimbangan ventilasi dan perfusi alveolar memengaruhi selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ (Martin, 2009). Kondisi penyakit yang menyebabkan ketidaksesuaian perfusi dan ventilasi alveolar akan meningkatkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasien yang sama dapat memiliki selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ yang berbeda jika kondisinya berubah dan memengaruhi kesesuaian perfusi dan ventilasi alveolar.

Ada 3 pasien yang memiliki selisih nilai PaCO₂ dan PETCO₂ sangat besar. Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ sebesar 13 mmHg diperoleh dari pengukuran pada pasien nomor 7. Pasien nomor 7 menderita myasthenia gravis yang menyebabkan kegagalan pernapasan sehingga dilakukan pemasangan ventilasi mekanik. Data tersebut diambil pada hari pertama dan ketiga perawatan pasien di GICU. Pasien dengan gangguan neurologi seperti miastenia gravis akan mengalami penurunan kekuatan otot pernapasan. Kelemahan otot pernapasan karena penyakit menyebabkan ventilasi alveolar menurun, keseimbangan antara ventilasi alveolar dan perfusi alveolar terganggu sehingga selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ menjadi besar (Guyton & Hall, 2006; Price & Wilson, 2006; Martin, 2009; Linda, 2010; Smeltzer *et al.*, 2010). Data tersebut diambil pada saat pasien menggunakan ventilasi mekanik mode SIMV dan CPAP. Tidak terdapat perbedaan menonjol tanda vital pasien jika dibandingkan saat selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pasien lebih atau ≤5 mmHg. Kondisi penyakit pasien sangat memengaruhi selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂.

Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ sebesar 14 mmHg diperoleh dari pasien nomor 6 dan 9. Pasien nomor 9 menderita *hypertension heart disease* dan *chronic kidney disease*. Masalah di ginjal menyebabkan penumpukan ion hydrogen dan CO₂ karena tidak bisa dibuang melalui urin. Sedangkan pada pasien dengan gangguan jantung dapat menyebabkan gangguan perfusi jaringan dan alveolar. Hal ini menyebabkan CO₂ jaringan tidak terangkut oleh darah dan tidak mengalami pertukaran di alveolar. Keadaan ini menyebabkan penumpukan CO₂ di dalam tubuh dan meningkatkan PaCO₂ (Guyton & Hall, 2006; Price & Wilson, 2006; Martin,

2009; Linda, 2010; Smeltzer *et al.*, 2010). Data diambil pada saat pasien menggunakan ventilasi mekanik mode CPAP. Tidak terdapat perbedaan signifikan pada data tanda vital jika dibandingkan data pada saat selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ lebih kecil. Penurunan kondisi pasien yang menyebabkan penumpukan CO₂ dan ketidaksesuaian perfusi dan ventilasi alveolar menyebabkan peningkatan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂.

Selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ 14 mmHg juga didapatkan dari pasien nomor 6. Data ini didapatkan setelah pasien mengalami henti jantung dan sempat dilakukan resusitasi jantung paru. Pada saat henti jantung terjadi penumpukan CO₂ dalam darah karena tidak ada perfusi yang membawa CO₂ untuk dibuang melalui paru-paru. Hal ini menyebabkan peningkatan PaCO₂ dan penurunan nilai PETCO₂ sehingga selisih nilai antara dua pengukuran tersebut menjadi besar (Price & Wilson, 2006; Martin, 2009; Linda, 2010; Smeltzer *et al.*, 2010). Data diambil pada saat pasien menggunakan ventilasi mekanik mode SIMV setelah sehari sebelumnya pasien menggunakan mode CPAP. Pasien sedang memiliki tekanan darah sistolik yang tinggi (171 mmHg) dengan tekanan darah diastolik 74 mmHg. Denyut jantung pasien juga cepat yaitu 132 X/ menit. Peningkatan tekanan darah dan denyut jantung disebabkan oleh pemberian obat-obat resusitasi. Penumpukan CO₂ yang terjadi saat henti jantung dan penurunan perfusi alveolar menyebabkan selisih nilai PETCO₂ dan PaCO₂ yang sangat besar.

Hasil penelitian yang membandingkan nilai PETCO₂ dan PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik menunjukkan bahwa nilai PETCO₂ tidak dapat menggantikan nilai PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik. Pemantauan PCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik tidak bisa dilakukan hanya dengan menggunakan nilai PETCO₂ tanpa menggunakan nilai PaCO₂ yang merupakan gold standard pemeriksaan PCO₂. Tetapi nilai PETCO₂ dapat dipergunakan untuk memperkirakan nilai PaCO₂ pasien dengan ventilasi mekanik. Pengukuran nilai PETCO₂ dengan menggunakan capnostat dapat dilakukan secara kontinu. Petugas kesehatan dapat mengetahui perubahan nilai PETCO₂ pasien setiap saat, dan jika diperlukan dapat

melakukan evaluasi lebih lanjut dengan pemeriksaan nilai PaCO₂ dengan analisis gas darah arteri dan segera dilakukan penanganan yang tepat.

Simpulan

Berdasarkan pengujian hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai PETCO₂ dapat digunakan untuk memperkirakan nilai PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik sehingga nilai PETCO₂ dapat digunakan untuk memantau tekanan parsial CO₂ secara non invasif dan kontinu. Nilai PETCO₂ dapat digunakan untuk deteksi dini perubahan tekanan parsial CO₂ pasien. Akan tetapi, nilai PETCO₂ tidak dapat menggantikan nilai PaCO₂ pada pasien dengan ventilasi mekanik sehingga nilai PaCO₂ harus tetap digunakan dalam pemantauan tekanan parsial CO₂ pasien.

Daftar Pustaka

- Aaron, S.D., Vandemheen, K.L., Naftel, S.A., Lewis, M., & Rodger, M.A. (2003). Topical Tetracaine Prior to Arterial Puncture: a Randomized, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Respiratory Medicine*, 97, 1195–1199. Doi: 10.1016/S0954-6111(03)00226-9.
- Bland, J.M., & Altman, D.G. (2006). Agreement Between Methods of Measurement with Multiple Observations Per Individual. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*, 17(4). 571-582.
- Bobbia, X., Grandpierre, R.G., Claret, P.G., Moreau, A., Pommet, S., Bonnet, J.M., et al. (2013). Ultrasound Guidance for Radial Arterial Puncture: a Randomized Controlled Trial. *American Journal of Emergency Medicine* 31, 810–815.
- Bongard, F.S., Sue, D.Y., & Vintch, J. (2008). *A Lange Medical Book: Current Diagnosis & Treatment Critical Care*. 3rd Ed. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Carstensens, B. (2010). *Comparing Clinical Measurement Methods: A Practical Guide*.

- United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-69427.
- Cinar, O., Acar, Y.A., Arziman, I., Kilic, E., Eyi., Y.S., & Ocal, R. (2010). Can Mainstream End-Tidal Carbon Dioxide Measurement Accurately Predict The Arterial Carbondioxide Level Of Patients With Acute Dyspnea In ED. *American Journal of Emergency Medicine* 30, 358–361. Doi: 10.1016/j.ajem.2010.12.014.
- Coates, B.M., Chaize, R., Goodman D.M., & Roznfeld, R.A. (2014). Performance of Capnometry in Non-Intubated Infants in The Pediatric Intensive Care Unit. *BMC Pediatrics*, 14, 163.
- Dev, S.P., Hillmer, M.D., Ferri, M. (2011). Arterial Puncture for Blood Gas Analysis. *N Engl J Med*, 364: e7.
- Grosbach, I., Chlan, L., Tracy, M.F. (2011). Overview of mechanical ventilatory support and management of patient and ventilator related-responses. *Crit Care Nurse*, 31, 30-44. Doi: 10.4037/ ccn2011595 Grossbach, Chlan, & Tracy. (2011).
- Guyton, A.C., & Hall, J.E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. (11th Ed). Philadelphia: Elsevier Inc.
- Hall, J.B., (2009). *Handbook of Critical Care*. (3rd Ed). London: Springer-Verlag London Limited.
- Hanneman, S.K. (2008). Design, Analysis and Interpretation of Method-Comparison Studies. *AACN Adv Crit Care*, 19(2). Doi: 10.1097/01.AACN.0000318125.41512.a3.
- Hennessey, I.A.M., & Japp, A.G. (2007). *Arterial Blood Gases Made Easy*. China: Elseveir Limited.
- Kozier, B., Erb, G., Berman, A., & Snyder, S. (2010). *Fundamental of Nursing: Concept, Proces, and Practice*. Editor edisi bahasa Indonesia: Widiarti, W. Buku Ajar Fundamental Keperawatan: Konsep, Proses, dan Praktik. Edisi 7. Vol. 1. Jakarta: EGC.
- Leone, V., Misuri, D., & Console, N. (2009). Radial Artery Pseudoaneurysma After a Single Arterial Puncture for Blood-Gas Analysis: a Case Report. *Cases Journal*, 2, 6890. Doi:10.4076/1757-1626-2-6890.
- Linda, Y. (2010). *Capnography Handbook, Respiratory Critical Care*. Hoechberg: CareFusion Corporation.
- Localzo, Joseph. (2010). *Harison's Pulmonary and Critical Care Medicine*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Malley, W.J. (2005). *Clinical Blood Gases: Assessment and Intervention*. (2nd Ed). USA: Elsevier.
- Martin, K.T. (2009). *CO₂ Monitoring*. Riverside: RC Educational Consulting Services, Inc.
- McCormack, J.G., Kelly, K.P., Wedgwood, J., & Lyon, R. (2008). The Effects of Different Analgesic Regimens on Transcutaneous CO₂ After Major Surgery. *Anaesthesia*, 63, 814–82. Doi:101111/j. 1365-2044 2008 05487.
- Papadakos, P.J., & Lachman, B. (2008). *Mechanical Ventilation: Clinical Applications and Pathophysiology*. Philadelphia: Saunders. Price SA, Wilson LM. 2006. Patofisiologi Konsep Klinis Proses-Proses Penyakit. Jakarta : EGC.
- Radiometer Copenhagen. (2007). *ABL5 Blood Gas System*. Copenhagen: Radiometer Medical ApS.
- Razi, E., Moosavi, G.A., Omidi, K., Saebi, A.K., & Razi, A. (2012). Correlation of End-Tidal Carbon Dioxide with Arterial Carbon Dioxide in Mechanically Ventilated Patients. *Arch Trauma Res*. 1(2).
- Smeltzer, S.C., Bare, B.G., Hinkle, J.L., Cheever, K.H. (2010). *Brunner & Suddarth's Textbook of Medical-Surgical Nursing*. (12th Ed). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Tingay, D.G., Stewart, M.J., & Morley, C.J. (2005). Monitoring of End Tidal Carbon

Dioxide During Neonatal Transport. *Arch Dis Child Fetal Neonatal* Ed 205;90:F523-F526. Doi: 10.1136/adc.2004.064717.

Tingay, D.G., Mun, K.S., & Perkins, E.J. (2013). End Tidal Carbon Dioxid is As Reliable As Transcutaneous Monitoring in Ventilated Postsurgical Neonates. *Arch Dis Child Fetal Neonatal*, 98, 161–164. Doi: 10.1136/fetalneonatal-2011-301606.

Tortora, G.J., & Derrickson, B. (2012). *Principles of Anatomy and Physiology*. (13th

Ed). USA: John Wiley & Sons, Inc.

Urden, L.D., Stacy, K.M., & Lough, M. (2006). *The Ian's critical care nursing: Diagnosis and management*. (5th Ed). Missouri: Mosby Elsevier.

Zou, G.Y. (2011). Confidence Interval Estimation for The Bland–Altman Limits of Agreement with Multiple Observations Per Individual. *Statistical Methods in Medical Research*. 22(6), 630–642. Doi: 10.1177/0962280211402548.