



Hubungan MAP dan CVP terhadap PEEP dan Perubahan Stroke Volume pada Pasien Ventilasi Mekanik Invasif: Studi Observasional Analitik

Win Muliadi¹, Cynthia Dewi Sinardja¹, I Made Subagiarta¹

1. *Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif, Universitas Udayana, Denpasar, Indonesia*

Abstrak

Pendahuluan: Penggunaan parameter statis seperti mean arterial pressure (MAP) dan central venous pressure (CVP) sering kali tidak cukup akurat untuk memprediksi fluid responsiveness, sehingga diperlukan parameter dinamis yang lebih praktis dan dapat diandalkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi korelasi antara perubahan MAP dan CVP akibat perubahan positive end expiratory pressure (PEEP) dengan perubahan stroke volume (SV) sebagai prediktor kecukupan cairan pada pasien ICU dengan ventilasi mekanik.

Pasien dan Metode: Penelitian ini merupakan studi observasional analitik. Subjek penelitian adalah pasien berusia 18–65 tahun yang menjalani ventilasi mekanik. Setelah mendapatkan persetujuan etik dan informed consent, dilakukan pengukuran MAP dan CVP pada PEEP 5 dan 15 cmH₂O. Selanjutnya, SV diukur menggunakan ekokardiografi transtorakal dan setelah manuver passive leg raising (PLR). Fluid responsiveness didefinisikan sebagai peningkatan SV $\geq 10\%$ setelah PLR. Analisis korelasi dilakukan untuk menilai hubungan antara perubahan MAP dan CVP akibat PEEP dengan perubahan SV akibat PLR, serta analisis kurva ROC untuk menentukan nilai ambang diagnostik.

Hasil: Sebanyak 28 pasien memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis dalam penelitian ini. Hasil analisis menunjukkan bahwa tidak ditemukan korelasi yang signifikan antara perubahan MAP akibat PEEP dengan perubahan SV akibat PLR ($r = -0,233$; $p = 0,232$). Sebaliknya, ditemukan korelasi kuat antara perubahan CVP akibat PEEP dengan perubahan SV akibat PLR ($r = 0,751$; $p < 0,001$). Analisis kurva ROC memperlihatkan area under curve (AUC) sebesar 0,872 untuk perubahan CVP, dengan nilai ambang optimal 3,25 cmH₂O yang memberikan sensitivitas 71,4% dan spesifisitas 78,6% dalam memprediksi fluid responsiveness.

Kesimpulan: Perubahan CVP akibat peningkatan PEEP memiliki korelasi kuat dengan fluid responsiveness dan dapat digunakan sebagai parameter dinamis untuk menilai kecukupan cairan pada pasien ICU dengan ventilasi mekanik.

Kata Kunci : mean arterial pressure, central venous pressure, positive end-expiratory pressure, fluid responsiveness, ventilasi mekanik.

Abstract

Introduction: The use of static parameters such as mean arterial pressure (MAP) and central venous pressure (CVP) is often not sufficiently accurate in predicting fluid responsiveness; therefore, more practical and reliable dynamic parameters are needed. This study aims to evaluate the correlation between changes in MAP and CVP due to alterations in positive end-expiratory pressure (PEEP) and changes in stroke volume (SV) as predictors of fluid adequacy in ICU patients undergoing mechanical ventilation.

Patients and Methods: This study is an analytical observational study. The research subjects were patients aged 18–65 years who were undergoing mechanical ventilation. After obtaining ethical approval and informed consent, MAP and CVP were measured at PEEP levels of 5 and 15 cmH₂O. Subsequently, SV was measured using transthoracic echocardiography and after a passive leg raising (PLR) maneuver. Fluid responsiveness was defined as an increase in SV of $\geq 10\%$ following PLR. Correlation analysis was conducted to assess the relationship between changes in MAP and CVP due to PEEP and changes in SV due to PLR, as well as ROC curve analysis to determine the diagnostic threshold value.

Results: A total of 28 patients met the inclusion criteria and were analyzed in this study. The analysis showed no significant correlation between changes in MAP due to PEEP and changes in SV due to PLR ($r = -0.233$; $p = 0.232$). In contrast, a strong correlation was found between changes in CVP due to PEEP and changes in SV due to PLR ($r = 0.751$; $p < 0.001$). ROC curve analysis showed an area under the curve (AUC) of 0.872 for changes in CVP, with an optimal cutoff value of 3.25 cmH₂O, yielding a sensitivity of 71.4% and specificity of 78.6% in predicting fluid responsiveness.

Conclusion: Changes in CVP due to increased PEEP strongly correlate with fluid responsiveness and can be used as a dynamic parameter to assess fluid adequacy in mechanically ventilated ICU patients.

Keywords: mean arterial pressure, central venous pressure, positive end-expiratory pressure, fluid responsiveness, mechanical ventilation.

Pendahuluan

Penatalaksanaan cairan yang optimal pada pasien kritis di ruang intensif sangat penting untuk mendukung perfusi organ dan mencegah komplikasi akibat kelebihan cairan. Kelebihan cairan telah terbukti meningkatkan risiko mortalitas dan morbiditas pada pasien kritis.¹ Oleh karena itu, penilaian status preload sebelum pemberian cairan menjadi langkah esensial dalam praktik klinis. Secara klasik, status preload sering diperkirakan menggunakan parameter statis seperti mean arterial pressure (MAP) dan central venous pressure (CVP). Namun, berbagai studi dalam satu dekade terakhir menunjukkan bahwa nilai statis ini tidak cukup akurat untuk memprediksi fluid responsiveness, yaitu kemampuan jantung meningkatkan cardiac output setelah pemberian cairan.^{2,3}

Alamat Korespondensi: Win Muliadi
Denpasar, Indonesia
winbius2019@gmail.com

Diajukan: 22-Jun-2025
Diterima: 01-Jul-2025

Direvisi: 24-Jun-2025
Diterbitkan: 08-Aug-2025

Sebagai alternatif, parameter dinamis yang memanfaatkan perubahan hemodinamik akibat intervensi tertentu, seperti passive leg raising (PLR) atau perubahan positive end expiratory pressure (PEEP), telah banyak diteliti.^{4,5} Manuver PLR yang dikombinasikan dengan pengukuran stroke volume (SV) menggunakan ekokardiografi telah terbukti dapat memprediksi fluid responsiveness secara andal, namun pelaksanaannya tidak selalu praktis untuk semua pasien dan situasi. Pada pasien dengan ventilasi mekanik, perubahan PEEP dapat memengaruhi tekanan intratoraks serta memodifikasi nilai MAP dan CVP, sehingga perubahan kedua parameter ini berpotensi menjadi indikator dinamis yang mudah diterapkan di ruang intensif.⁶

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi hubungan antara perubahan MAP dan perubahan CVP (Δ CVP) akibat peningkatan PEEP dengan fluid responsiveness, namun hasilnya masih bervariasi dan sering kali

terbatas pada populasi tertentu, seperti pasien syok septik atau pasca-bedah jantung.^{6,7} Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi korelasi antara perubahan MAP dan CVP akibat peningkatan PEEP dengan perubahan SV akibat PLR sebagai prediktor kecukupan cairan pada pasien ICU dengan ventilasi mekanik secara lebih luas.

Pasien dan Metode

Penelitian ini menggunakan desain observasional analitik dengan *consecutive sampling*, dilaksanakan di *Intensive Care Unit* RSUP Ngoerah Denpasar dari Agustus hingga Desember 2022. Penelitian telah memperoleh persetujuan etik dari Komite Etik Fakultas Kedokteran Universitas Udayana (2022.02.01.0856), dan seluruh subjek atau keluarganya telah memberikan informed consent sebelum berpartisipasi.

Tabel 1. Profil demografis subjek penelitian

Variabel	Nilai (n=28)
Umur (tahun), median (IQR)	34,5±6,1
Jenis kelamin,	
Laki-laki [n(%)]	15 (53,6%)
Perempuan [n(%)]	13 (46,4%)
Body Mass Index (kg/m ²), median (IQR)	23,70 (5,31)
Komorbiditas	
Paru	18 (64,3%)
Kardiovaskular	7 (25%)
Ginjal	10 (35,7%)
Gastrointestinal	3 (10,7%)
Sepsis	7 (25%)
Lain-lain	16 (57,1%)

Kriteria inklusi meliputi pasien dewasa usia 18–65 tahun yang menjalani ventilasi mekanik dan telah terpasang kateter vena sentral dengan tip di vena cava superior. Pasien harus dalam kondisi sedasi dan analgesia yang adekuat ($\text{RASS} \leq -2$). Kriteria eksklusi mencakup adanya aritmia jantung, kelainan katup jantung, syok berat, kontraindikasi terhadap peningkatan PEEP atau PLR, serta hipertensi intraabdomen. Setelah seleksi subjek, dilakukan pengukuran baseline MAP dan CVP pada PEEP 5 cmH₂O

dalam posisi semi-recumbent 30°. Setelah dua menit, PEEP dinaikkan menjadi 15 cmH₂O dan pengukuran diulang. Selanjutnya, PEEP dikembalikan ke 5 cmH₂O, dan dilakukan manuver dengan mengangkat kedua kaki pasien setinggi 45°. Pengukuran SV menggunakan ekokardiografi transtorakal menggunakan probe *phased array*. Fluid responsiveness didefinisikan sebagai peningkatan SV $\geq 10\%$ pasca-PLR. Data dianalisis menggunakan uji korelasi Pearson atau Spearman sesuai distribusi data, serta analisis kurva ROC untuk menentukan nilai ambang diagnostik perubahan CVP sebagai prediktor fluid responsiveness menggunakan SPSS versi 27.

Hasil

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan CVP akibat peningkatan PEEP dapat digunakan sebagai parameter dinamis yang praktis untuk memprediksi fluid responsiveness pada pasien ICU dengan ventilasi mekanik. Temuan korelasi kuat antara Δ CVP dan fluid responsiveness ($r=0,751$; $p<0,001$) sejalan dengan studi Vallier dkk. yang menggunakan analisis slope CVP selama peningkatan PEEP bertahap untuk memprediksi respons cairan.⁶ Nilai ambang Δ CVP $\geq 3,25$ cmH₂O pada penelitian ini (AUC 0,872) mendukung penggunaan CVP sebagai parameter dinamis yang praktis.

Tabel 2. Uji Komparasi Parameter Hemodinamik berdasarkan Fluid Responsiveness

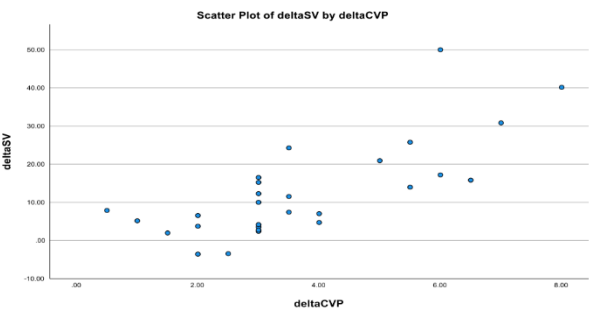
Parameter	Fluid responsive	Tidak fluid responsive	Perbedaan	p-value
CVP (cmH ₂ O), rerata $\pm$ SD	6,03 $\pm$ 4,54	9,07 $\pm$ 5,22	-3,03 (-6,84 – 0,77)	0,113*
Perubahan CVP (cmH ₂ O), rerata $\pm$ SD	4,89 $\pm$ 1,71	2,50 $\pm$ 1,05	2,39 (1,28 – 3,49)	<0,001*
MAP (mmHg), rerata $\pm$ SD	82,07 $\pm$ 13,5	87,35 $\pm$ 10,71	-5,28 (-14,79 – 4,21)	0,263*
Perubahan MAP (%), median (IQR)	-5,64 (19,93)	-2,99 (6,13)		0,581**
SV (ml), rerata $\pm$ SD	56,12 $\pm$ 17,3	61,72 $\pm$ 15,85	-5,59 (-18,51 – 7,33)	0,382*

Secara fisiologis, peningkatan PEEP menurunkan venous return dan meningkatkan afterload ventrikel kanan. Pada pasien hipovolemik, efek ini lebih nyata akibat komplians vaskular rendah, sehingga Δ CVP mencerminkan sensitivitas terhadap cairan.^{5,6} Temuan ini relevan dengan bukti bahwa manajemen cairan liberal dengan PEEP tinggi berisiko menyebabkan kerusakan endotel paru.⁷

Diskusi

Perbandingan dengan studi sebelumnya menunjukkan konsistensi hasil dengan Geerts dkk. pada pasien pasca-bedah jantung, meskipun nilai ambang berbeda (3,25 cmH₂O vs. 2,03 cmH₂O).³ Sebaliknya, Δ MAP tidak signifikan dalam penelitian ini, berbeda dengan temuan Wilkman dkk. pada syok septik yang diduga akibat perbedaan protokol PEEP.⁵

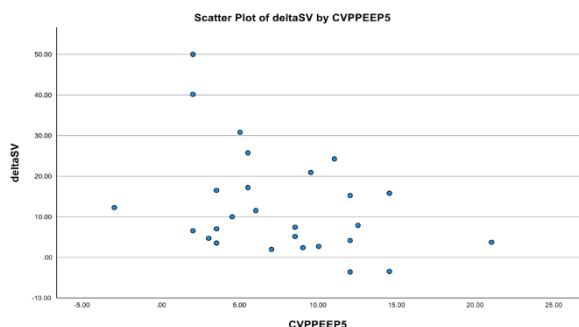
Pendekatan non-invasif melalui pemantauan Δ CVP akibat PEEP dapat mengurangi risiko infeksi terkait kateter dan mempersingkat durasi ventilasi mekanik, sekaligus menghindari komplikasi terkait liberal fluid management.^{7,8}



Gambar 1. Scatter Plot CVP awal terhadap perubahan SV

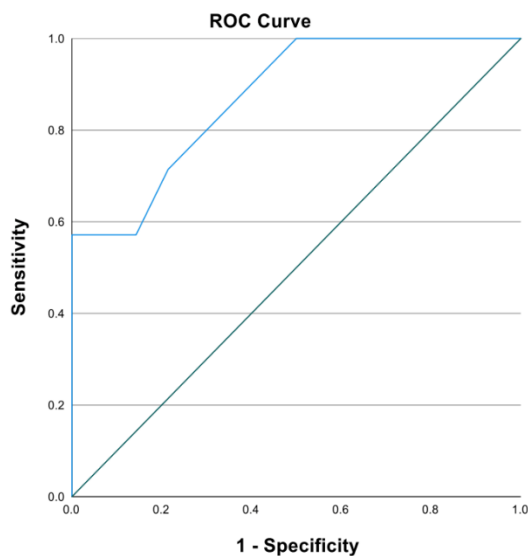
Secara fisiologis, peningkatan PEEP menyebabkan peningkatan tekanan intratoraks yang dapat menurunkan venous return dan meningkatkan afterload ventrikel kanan. Pada

pasien dengan status volume rendah, perubahan CVP akibat PEEP akan lebih nyata, sehingga dapat mencerminkan sensitivitas pasien terhadap pemberian cairan.⁸ Temuan ini memiliki implikasi klinis yang penting, mengingat pengukuran CVP dan pengaturan PEEP merupakan intervensi yang mudah dan rutin dilakukan di ICU.



Gambar 2. Scatter Plot perubahan CVP terhadap perubahan SV

Keterbatasan penelitian ini antara lain adalah ukuran sampel yang relatif kecil, heterogenitas komorbiditas, serta pengukuran SV yang bersifat operator dependent. Penelitian lanjutan dengan populasi yang lebih besar dan teknik pengukuran SV yang lebih akurat diperlukan untuk memvalidasi temuan ini.



Gambar 1. Kurva ROC antara sensitivitas dan 1-spesifisitas dengan sumber surva adalah perubahan CVP (garis biru)

Kesimpulan

Perubahan CVP akibat peningkatan PEEP menunjukkan korelasi kuat dengan fluid responsiveness dan dapat digunakan sebagai

parameter dinamis untuk menilai kecukupan cairan pada pasien ICU dengan ventilasi mekanik. Sebaliknya, perubahan MAP akibat PEEP tidak berkorelasi dengan fluid responsiveness. Penggunaan perubahan CVP sebagai alat bantu pengambilan keputusan terapi cairan di ruang intensif dapat meningkatkan akurasi penatalaksanaan cairan dan mengurangi risiko overload cairan pada pasien kritis.

Ucapan Terima Kasih

Nihil.

Konflik Kepentingan

Nihil.

Pendanaan dan Sponsor

Nihil.

Daftar Pustaka

1. Marik PE, Baram M, Vahid B. Does central venous pressure predict fluid responsiveness? A systematic review of the literature and the tale of seven mares. *Chest*. 2008;134(1):172-8.
2. Monnet X, Marik PE, Teboul JL. Prediction of fluid responsiveness: an update. *Ann Intensive Care*. 2016;6:111.
3. Geerts BF, Aarts LP, Jansen JR. Predicting cardiac output responses to passive leg raising by a PEEP-induced increase in central venous pressure in cardiac surgery patients. *Br J Anaesth*. 2011;107(2):150-6.
4. El-Kass EM, El-Sherbiny SA, El-Shahat SM, et al. Relation between central venous pressure values and outcome in critically ill patients. *Res Opin Anesth Intensive Care*. 2020;7(2):220-6.
5. Wilkman E, Kaukonen KM, Pettilä V. Fluid responsiveness predicted by elevation of PEEP in patients with septic shock. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2014;58(1):27-35.
6. Vallier S, Benhamou D, Biais M, et al. Slope analysis for the prediction of fluid responsiveness by a stepwise PEEP elevation recruitment maneuver in mechanically ventilated patients. *BMC Anesthesiol*. 2022;22:12.
7. Carvalho EB. Fluid management strategies and their interaction with mechanical ventilation: from experimental studies to clinical practice. *Intensive Care Med*. 2023;11:44.

8. Monnet X, Teboul JL. Assessment of fluid responsiveness: recent advances. Crit Care. 2015;19:18.