

## Peran Ekokardiografi dalam *Intensive Care Unit*

### *Role of Echocardiography in Intensive Care Unit*

Sidhi Laksono<sup>✉\*,\*\*</sup>, Wincent Candra Diwirya<sup>\*\*\*</sup>

\*SMF Kardiologi dan Kedokteran Vaskuler RS Pusat Pertamina, Jakarta, Indonesia

\*\*Fakultas Kedokteran, Universitas Muhammadiyah Prof Dr Hamka, Tangerang, Banten, Indonesia

\*\*\*Fakultas Kedokteran, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

✉Korespondensi: [sidhilaksono@uhamka.ac.id](mailto:sidhilaksono@uhamka.ac.id)

#### **ABSTRACT**

*Critical care echocardiography (CCE) is a noninvasive imaging tool at the bedside. It offers a great value in the intensive care setting because of its portability, widespread availability, and rapid diagnostic capability. Physicians with basic training in echocardiography, both from intensive care unit and emergency department, can assess the left ventricle function properly with good accuracy. CCE can be used to evaluate cardiac function because it can recognize regional wall abnormalities instantly. Rapid recognition like this can accelerate the pace of interventions that might reduce mortality. Patients with abnormalities on echocardiography have a disadvantage on survival in the intensive care unit (ICU). Transthoracic and transesophageal echocardiography are important investigations in the ICU to diagnose acute cardiac pathologies and assess the haemodynamic status. This study aims to highlight the important role of CCE in clinical decision making.*

**Keywords:** *critical care; diagnosis; echocardiography; intensive care; monitoring*

#### **ABSTRAK**

*Critical care echocardiography (CCE) adalah alat pencitraan non-invasif samping tempat tidur yang dapat memberikan manfaat pada perawatan intensif karena portabilitas, ketersediaan luas, dan kemampuan diagnostik yang cepat. Dokter yang telah mendapatkan pelatihan dasar ekokardiografi, baik dokter unit perawatan intensif atau unit gawat darurat, dapat menilai fungsi ventrikel kiri dengan akurasi yang baik. CCE dapat digunakan untuk mengevaluasi fungsi jantung karena dapat mengenali kelainan dinding regional secara instan. Pengenalan cepat seperti ini dapat mendorong kecepatan intervensi yang berpotensi mengurangi angka kematian. Pasien dengan kelainan pada ekokardiografi memiliki kecenderungan gangguan yang signifikan dalam kelangsungan hidup di ICU. Ekokardiografi transtorakal dan transesofageal adalah pemeriksaan penting di unit perawatan intensif (ICU). Alat ini dapat digunakan untuk mendiagnosis patologi jantung akut dan menilai status hemodinamik. Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk menyoroti peran penting CCE dalam pengambilan keputusan klinis.*

**Kata Kunci:** *diagnosis; ekokardiografi; perawatan kritis; perawatan intensif; monitoring*

## PENDAHULUAN

Ekokardiografi adalah modalitas pencitraan yang banyak digunakan, noninvasif, portabel, dan sangat bermanfaat dalam memberikan informasi mengenai anatomi dan fungsional jantung maupun pembuluh darah besar. Ketika digunakan dalam penatalaksanaan pasien kritis di ICU, ekokardiografi bersifat lebih fokus alih-alih komprehensif, dapat dilakukan dan diinterpretasikan sepanjang waktu oleh dokter dalam konteks klinis dan terapi yang sedang berlangsung, seringkali menghasilkan dampak terapi yang bersifat luas dan langsung.<sup>1</sup>

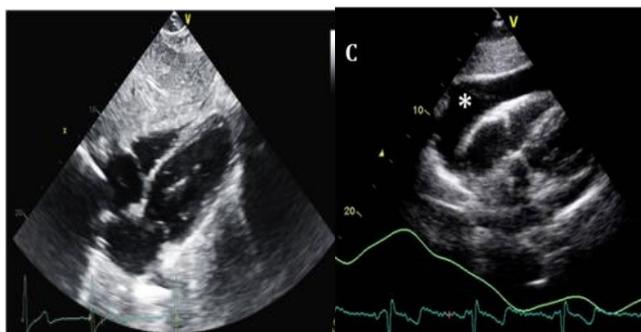
CCE adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengatasi kompleksitas diagnostik dan dilema seperti peningkatan keparahan penyakit, hemodinamik tidak stabil, pemberian dukungan organ yang tinggi dan komplikasi iatrogenik.<sup>2</sup> CCE diindikasikan pada pemeriksaan evaluasi fungsi ventrikel pasca sindrom koroner akut, kasus hipotensi yang tidak diketahui penyebabnya, identifikasi mekanisme kegagalan sirkulasi, dan evaluasi terapi sirkulasi farmakologis ataupun mekanis. Ketika diintegrasikan dengan USG paru-paru, alat ini akan menjadi peralatan *bedside* yang sangat bermanfaat dalam optimalisasi dan evaluasi terapi.<sup>3-5</sup> CCE direkomendasikan untuk semua pasien sakit kritis non-jantung dan non-kardioraks untuk mengevaluasi fungsi jantung karena dapat mengenali kelainan dinding regional secara instan setelah

timbulnya iskemia jantung. Pengenalan cepat seperti itu dapat mendorong intervensi yang berpotensi mengarah pada pengurangan angka kematian. Pasien dengan kelainan pada ekokardiografi memiliki kecenderungan gangguan yang signifikan dalam kelangsungan hidup di ICU. Tinjauan ini bertujuan untuk menyoroti peran penting CCE dalam pengambilan keputusan klinis.<sup>6</sup>

## EKOKARDIOGRAFI DALAM DIAGNOSA KLINIS

### Efusi perikardium dan tamponade

Ekokardiografi adalah alat pilihan untuk mengevaluasi kantung perikardial dan adanya tamponade. Diagnosis efusi perikardial dibuat berdasarkan adanya ruang bebas antara perikardium parietal dan viseral yang dilihat dari parasternal, apikal, dan/atau subkostal ekokardiografi. Adanya cairan perikardial yang signifikan secara hemodinamik biasanya dinilai dengan pemeriksaan atrium kanan (RA) dan ventrikel kanan (RV). Kolapsnya RA selama awal sistol dan RV selama awal diastol menunjukkan bahwa tekanan intraperikardial melebihi tekanan jantung kanan. Temuan ini, bersamaan dengan *inferior vena cava* (IVC) yang melebar adalah tanda-tanda tamponade yang signifikan secara hemodinamik. Gambar subkostal biasanya merupakan jendela terbaik untuk menilai efusi perikardial. Gambar ini juga dapat digunakan untuk memandu prosedur perikardiosentesis jika diperlukan.<sup>7</sup>



**Gambar 1.** *Subcostal view* jantung normal (kiri) dan efusi perikardium<sup>7,8</sup>

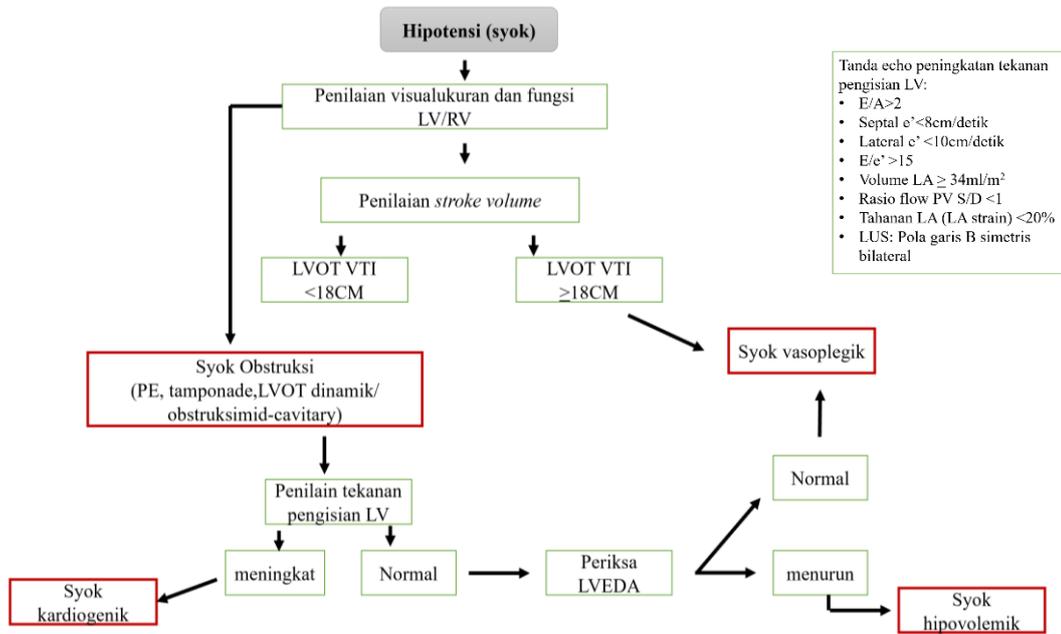


**Gambar 2.** 4 ruang mid-esofagus ekokardiografi transesofageal tampilan efusi perikardial. Diastolik kolaps ventrikel kanan (panah) adalah tanda sensitif tamponade.<sup>7</sup>

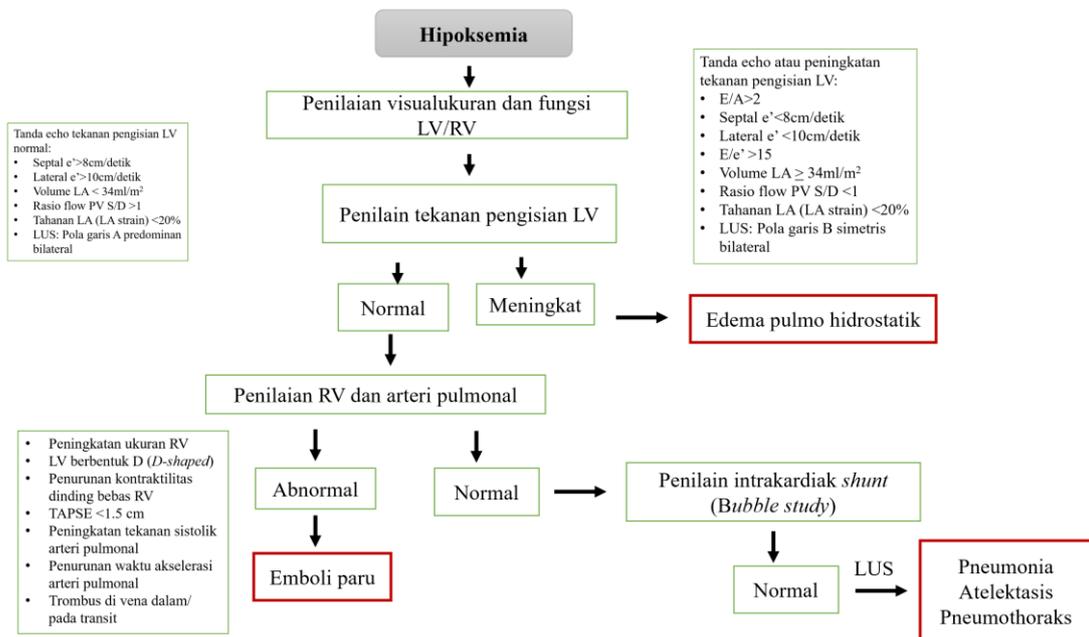
### Syok (Hipotensi)

Hipotensi sering ditemukan pada pasien yang tidak stabil di ICU. Hipotensi persisten dapat berkembang menjadi syok. Kondisi klinis yang paling sering menentukan hipotensi termasuk disfungsi sistolik ventrikel kiri (LV) yang parah dan semua penyebab yang mempengaruhi pengisian ventrikel kiri karena hipovolemia (misalnya, dehidrasi, perdarahan, anafilaksis, sepsis) atau peningkatan tekanan pengisian ventrikel kiri (misalnya, penyakit katup akut, tamponade jantung, *remodeling* LV yang signifikan). Pada penentuan etiologi syok, dapat digunakan beberapa parameter seperti LVOT VTI untuk syok vasoplegik atau obstruktif. Pada kasus obstruktif, pemeriksaan tambahan dapat turut membantu dalam menentukan penyebab

spesifik yaitu kardiogenik atau hipovolemik dengan melakukan pemeriksaan tekanan pengisian ventrikel kiri dan LVEDA. Pada kasus hipoksemia, pemeriksaan pertama yang perlu dilakukan adalah tekanan pengisian LV, jika ditemukan peningkatan etiologinya merupakan edema pulmonal hidrostatik. Jika normal, perlu dilakukan pemeriksaan RV dan arteri pulmonalis, hasil abnormal seperti pada rinician di bawah menunjukkan adanya emboli pulmonal. Jika hasil normal, lakukan pemeriksaan pirau intrakardiak, hasil normal mengarah terhadap kecurigaan pneumonia, atelektasis, dan pneumothoraks yang perlu dikonfirmasi dengan ultrasonografi paru. Berikut algoritme yang diajukan untuk diagnosis syok dengan ekokardiografi:<sup>2</sup>



Gambar 2. Algoritme diagnosis syok dengan ekokardiografi<sup>2</sup>



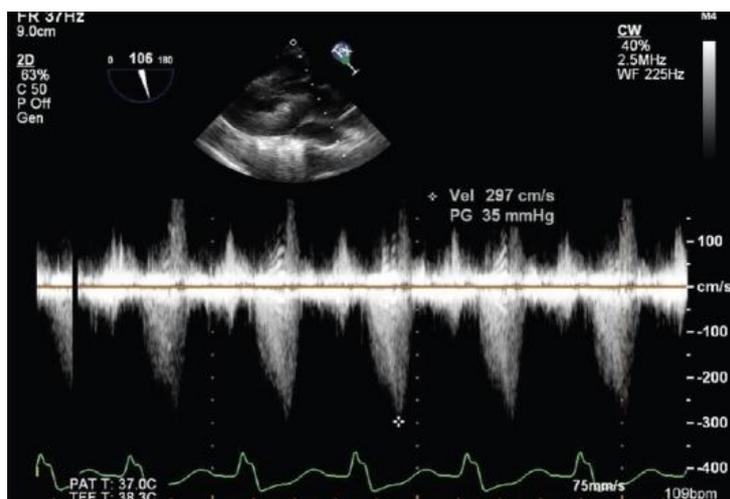
Gambar 3. Algoritme diagnosis hipoksemia dengan ekokardiografi<sup>2</sup>

### Diseksi aorta

Nyeri dada biasanya merupakan gejala awal dari sindrom koroner akut dan komplikasinya. Namun, penyebab potensial lain dari nyeri dada yang harus selalu dipertimbangkan di ICU adalah diseksi aorta. Ekokardiografi transtorakal (TTE) memungkinkan evaluasi yang baik dari aorta ascendens dan bagian proksimal arkus aorta. Meskipun demikian, pemeriksaan ini tidak dapat menilai bagian distal arkus dan aorta torakalis descendens sehingga tidak dapat secara akurat menyingkirkan diseksi aorta tipe B. Hal ini dapat diatasi dengan TEE, TEE memungkinkan visualisasi aorta descendens yang lebih baik. Elemen yang diperlukan untuk diagnosis diseksi aorta adalah ditemukan adanya lumen sejati dan palsu yang dipisahkan oleh flap intima.<sup>9</sup>

### Obstruksi dinamis saluran keluar ventrikel kiri

Syok obstruktif dengan temuan berikut akan sulit didiagnosis tanpa menggunakan ekokardiografi seperti rongga ventrikel kiri (LV) kecil, hipertrofi septum basal, katup mitral anterior memanjang dan adanya gerakan sistolik anterior (SAM) yang menyebabkan aliran kecepatan sistolik tinggi melintasi *left ventricular outflow tract* (LVOT). Obstruksi dinamis aliran harus dinilai pada tengah rongga ventrikel kiri yang dapat menunjukkan adanya turbulensi sistolik pada setiap titik di rongga ventrikel kiri, terutama ventrikel kiri kecil yang hiperdinamik. Temuan ekokardiografi yang khas pada kondisi ini adalah adanya peningkatan kecepatan puncak sistolik yang jelas pada akhir sistol dengan bukti gelombang *continuous wave* (CW) doppler berbentuk *dagger*.



Gambar 4. Gelombang CW Doppler berbentuk *dagger*<sup>10</sup>

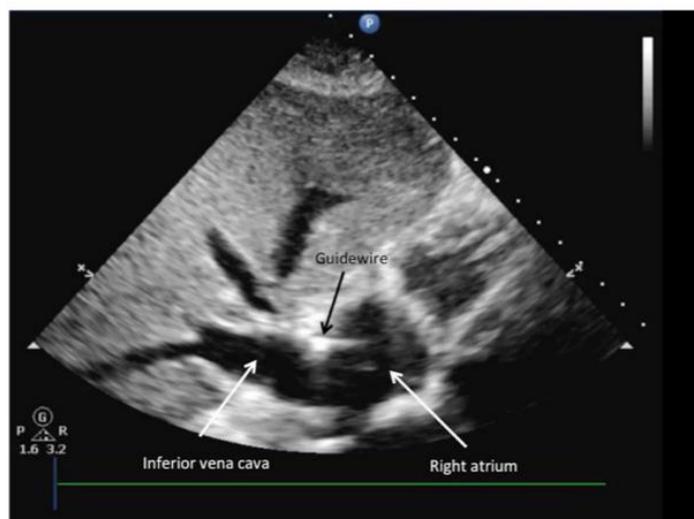
Diagnosis ekokardiografi obstruksi LVOT yang dinamis atau obstruksi bagian tengah kavitas LV sering menyebabkan perubahan drastis manajemen klinis karena memerlukan penghentian atau pengurangan dosis *inotropik*, meningkatkan *afterload* dengan *vasopressor*, mengoptimalkan

*preload* dengan memberikan cairan intravena dan juga mengurangi denyut jantung dengan *beta blocker* atau optimasi pacu jantung. Regurgitasi mitral dapat terjadi akibat dari hilangnya atau distorsi koaptasi sistolik mitral, hal ini akan menyebabkan jet regurgitasi eksentrik ke arah vena pulmonalis kiri.<sup>2</sup>

**EKOKARDIOGRAFI DALAM MONITORING HEMODINAMIK**

Kateterisasi jantung kanan (RHC), standar perawatan selama beberapa dekade terakhir, memungkinkan pengukuran tekanan jantung dan pembuluh darah sentral. Namun, prosedur ini bersifat invasif dan beberapa uji coba terkontrol secara acak dalam pengaturan klinis yang berbeda belum menunjukkan manfaat yang berarti.

Kendati demikian, ekokardiografi dapat digunakan untuk memperkirakan tekanan di jantung (Tabel 1). Tidak seperti RHC, CCE tidak memiliki risiko prosedur seperti pada RHC dan dapat memberikan informasi fungsional dan diagnostik selain perkiraan tekanan. Hal ini turut mendukung bahwa CCE mungkin bermanfaat dalam evaluasi hemodinamik dan manajemen pasien ICU.<sup>11</sup>



**Gambar 5.** Kawat pemandu (guidewire) di atrium kanan selama penempatan kateter vena sentral.

**Tabel 1.** Pengukuran kateter jantung kanan dan parameter ekokardiografi yang setara dengannya<sup>11</sup>

Pengukuran kateter jantung kanan	Parameter Ekokardiografi
Tekanan vena sentral (CVP)	Diameter IVC and tingkat kolapsnya
Tekanan sistolik ventrikel kanan	Kecepatan aliran puncak trikuspid yang dikonversi menjadi gradien tekanan dengan persamaan Bernoulli yang disederhanakan bersamaan dengan CVP atau <i>pulmonary acceleration time</i>
Tekanan atrium kiri (Tekanan oklusi arteri pulmonal)	Rasio E/e'
Volume sekuncup/curah jantung	Integral kecepatan aliran keluar ventrikel kiri atau kanan dikalikan dengan penampang luas untuk menghitung volume sekuncup, kemudian dikalikan dengan denyut jantung untuk memperoleh curah jantung

Keterangan: IVC: inferior vena cava; E/e': jarak antara gelombang E dan kecepatan jaringan anulus mitral saat diastolik awal.

### Penilaian fungsi ventrikel kanan dan tekanan arteri pulmonal

Fungsi RV dinilai berdasarkan ukuran, ketebalan dinding, dan kontraktilitasnya. Pedoman komprehensif untuk penilaian ekokardiografi jantung kanan dicantumkan dalam laporan terbaru *American Society of Echocardiography*. Untuk dokter yang melakukan perawatan kritis dengan pemeriksaan ekokardiografi pada pasien dengan ventilasi mekanis, pendekatan yang lebih pragmatis dapat digunakan. Pengukuran langsung ukuran RV dengan penelusuran batas endokardium sulit dan tidak direkomendasikan karena bentuk yang kompleks dan adanya trabekulasi di dalam ruang RV. Penilaian subjektif dari area ventrikel kanan dibandingkan dengan area ventrikel kiri dalam tampilan *apical 4-chamber* dapat digunakan sebagai gantinya. Rasio RVEDA terhadap LVEDA  $>0,6$  menunjukkan dilatasi ventrikel kanan, rasio ini konsisten dengan tekanan atau kelebihan volume. Ventilasi mekanik dan hipertensi pulmonal adalah kondisi umum yang menyebabkan dilatasi RV pada pasien yang sakit kritis. Dinding ventrikel kanan biasanya tipis. Hipertrofi pada RV berkaitan dengan penyakit sebelumnya. Kontraktilitas RV dinilai dengan melihat dari gambaran *parasternal long-axis*, *apical 4-chamber*, dan subkostal. Pengukuran langsung seperti *tricuspid annular plane systolic excursion* (TAPSE) mudah diperoleh dan membantu, dan memberikan tambahan yang berguna.<sup>12</sup>

Pengukuran kecepatan regurgitasi trikuspid adalah prosedur yang relatif sederhana dan dapat digunakan untuk memperkirakan tekanan sistolik arteri pulmonal menggunakan persamaan Bernoulli yang disederhanakan. Biasanya ini dibuat dari tampilan *apical 4-chamber*. Jika sadapan ini tidak dapat diakses, pancaran aliran regurgitasi

trikuspid juga dapat diperoleh dari gambaran parasternal dan subkostal. Estimasi tekanan sistolik arteri pulmonal menggunakan metode ini mengasumsikan tidak adanya stenosis pulmonal yang signifikan, dan mungkin tidak akurat pada pasien dengan penurunan kontraktilitas ventrikel kanan. *Pulmonary Arterial Systolic Pressure (PASP)* dihitung dari persamaan Bernoulli yang disederhanakan,  $PASP = 4 \times V_{TR}^2$ .<sup>13</sup>

### Penilaian responsivitas terapi cairan

Responsivitas cairan didefinisikan sebagai peningkatan ( $\geq 10-15\%$ ) volume sekuncup setelah dilakukan tindakan ekspansi volume intravaskular. Resusitasi cairan yang berlebihan dikaitkan dengan gagal napas dan ginjal dan *outcome* merugikan lainnya.<sup>11</sup>

### Parameter statis

Parameter statis yang diperoleh dengan ekokardiografi mencakup parameter volume dan tekanan pengisian (Tabel 2). Evaluasi tercepat status volume ruang jantung diperoleh dengan evaluasi visual. Indikasi hipovolemia berat adalah adanya "tanda otot papiler *kissing*", di mana otot-otot papiler yang berlawanan bersentuhan satu sama lain pada akhir sistol. Di antara parameter volume, *left ventricular end diastolic area* (LVEDA) populer dalam praktik klinis karena kesederhanaan pengukurannya. LVEDA kurang dari  $10 \text{ cm}^2$  menunjukkan hipovolemia yang signifikan. Dokter harus mengingat bahwa hipertrofi konsentris yang parah dapat mengurangi LVEDA bahkan tanpa hipovolemia. Sebaliknya, LVEDA lebih dari  $20 \text{ cm}^2$  menunjukkan kelebihan volume. Sayangnya, hanya sedikit peneliti yang menunjukkan bahwa LVEDA adalah indeks FR yang andal pada pasien sakit kritis. Selain itu, nilai batas untuk LVEDA belum ditemukan.<sup>14</sup>

**Tabel 2.** Parameter statis dan dinamis daya tanggap cairan yang dapat diukur dengan ekokardiografi<sup>14</sup>

Statis	Dinamis
<i>Eyeballing</i>	Variasi pernapasan aliran darah aorta
LVEDA	Indeks kemampuan kolaps vena cava
Mitral E/A	<i>Passive Leg Raising</i> (PLR)
E/E'	
Curah jantung	

Keterangan: E/A: rasio antara gelombang E dan gelombang A pada ekokardiografi dopler.

Selama dua dekade terakhir, ekokardiografi telah banyak digunakan untuk memperkirakan beberapa parameter tidak langsung dari tekanan pengisian jantung. Studi tentang fungsi diastolik LV pada pasien sakit kritis melalui pola aliran vena mitral dan pulmonal adalah sarana yang dapat digunakan untuk menyelidiki kondisi pengisian dan tekanan jantung. Pengukuran ini memiliki nilai diagnostik yang signifikan pada pasien sakit kritis. Misalnya, untuk pasien dengan analisis aliran transmitral menunjukkan perubahan rasio antara gelombang E dan A (rasio E/A) dan waktu deselerasi (DT) (yaitu, E/A >2 dan DT <160 ms. ), tekanan *capillary wedge* biasanya lebih besar dari 18 mmHg dan lebih dari 20 mmHg jika DT <120 ms. Oleh karena itu, rasio E/A tampaknya menjadi parameter ekokardiografi Doppler yang kuat untuk memprediksi nilai tekanan oklusi arteri pulmonal (PAOP). Teknik ini banyak digunakan untuk menilai PAOP sejak penerapan PAOP kurang dari 18 mmHg menunjukkan adanya sindrom gangguan pernapasan akut (ARDS).<sup>14</sup>

Untuk keadaan relaksasi LV, peningkatan tekanan LA akan menyebabkan peningkatan gelombang E sementara aliran listrik tetap berkurang dan tidak terpengaruh oleh peningkatan tekanan LA pada penyakit miokardium. Oleh karena itu, dengan reproduktifitas yang baik, rasio E/e' dianggap sebagai

penanda tekanan pengisian LV yang penting. Di mana E/e' < 8 bermakna tekanan pengisian LV rendah, E/e' > 14 bermakna tekanan pengisian LV tinggi.<sup>15</sup> Curah jantung (CO) adalah penentu utama pengiriman oksigen (DO<sub>2</sub>) ke organ. CO rendah bertanggung jawab atas DO<sub>2</sub> berkurang, yang dapat menyebabkan hipoperfusi jaringan dan disfungsi dan kegagalan organ.

Pada kasus *low output syndrome*, salah satu langkah terapeutik utama untuk meningkatkan CO adalah pemberian cairan. Namun, penting untuk menghindari pemberian cairan ketika pasien sakit kritis tidak merespons terhadap cairan, karena kelebihan volume dikaitkan dengan komplikasi dan *outcome* yang buruk. Demikian pula, penting untuk menghindari hipovolemia, yang berkaitan dengan gangguan perfusi organ dan *outcome* buruk.<sup>14</sup> Pengukuran curah jantung (CO) kadang-kadang dilakukan dalam pengaturan perawatan kritis, karena CO yang memadai merupakan prasyarat untuk pengiriman oksigen jaringan. Sementara CO yang rendah selalu menjadi sumber perhatian, tidak ada nilai absolut yang ditentukan sebelumnya untuk CO yang memadai. Oleh karena itu, dalam beberapa situasi, CO “tinggi” sebesar 10 L/menit mungkin memadai, dan sebaliknya CO yang tampaknya “normal” sebesar 5 L/menit mungkin tidak cukup untuk pengiriman oksigen jaringan yang optimal. Ekokardiografi dapat digunakan sebagai

pengganti metode invasif lain dalam memperkirakan curah jantung pada pasien kritis.<sup>16,17</sup> Ada beberapa cara untuk mengukur CO dengan ekokardiografi. Salah satu metode yang umum digunakan dan dapat diandalkan adalah dengan mengukur *left ventricular outflow tract velocity time integral* (LVOT VTI) dalam bidang 5 ruang apikal. Diameter anulus aorta diukur dari gambar *long axis* parasternal dengan menghitung luasnya. Mengalikan area ini dengan LVOT VTI menghasilkan volume sekuncup, dan mengalikan volume sekuncup dengan denyut jantung menghasilkan CO.<sup>18</sup>

**Parameter dinamis**

FR dinilai dengan manuver *passive leg raise* (PLR) dengan menginduksi perubahan *preload* jantung. Peningkatan VTI 10% didefinisikan sebagai respons positif. Selain itu, diameter VTI dan LVOT digunakan untuk menghitung SV. Nilai area di bawah kurva ROC untuk

memprediksi FR untuk kecepatan doppler maksimal pada *outflow* ventrikel kiri ( $\Delta V_{maxAo}$ ) *area under curve* (AUC 0,752), *pulse pressure variation* (PPV) (AUC 0,675), dan  $\Delta IVC$  (AUC 0,635). Pada semua kelompok pasien,  $\Delta superior vena cava$  ( $\Delta SVC$ ) selalu menunjukkan AUC lebih besar dari  $\Delta IVC$ . Hasil  $\Delta IVC$  ini secara sempurna meniru hasil yang diperoleh dengan menggunakan tekanan vena sentral (CVP) untuk memprediksi FR (CVP menunjukkan area di bawah kurva ROC AUC 0,56).  $\Delta SVC$  lebih cocok daripada  $\Delta IVC$  sebagai sarana untuk memprediksi FR. Namun, pengukurannya membutuhkan tranoesofageal ekokardiografi (TEE).<sup>14,19</sup> Indeks distensibilitas IVC juga dapat digunakan dalam memprediksi responsivitas cairan, respons positif apabila didapatkan hasil  $\geq 19,42\%$  pada pasien dengan ventilasi mekanik dan  $\geq 40\%$  pada pasien yang bernapas spontan.<sup>20</sup> Indeks distensibilitas IVC dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Indeks distensibilitas IVC} = \frac{\text{IVC diameter maksimum} - \text{IVC diameter minimum}}{\text{IVC diameter minimum}} \times 100\%$$

**Gambar 3.** Persamaan indeks distensibilitas IVC<sup>2</sup>

Jika TEE dapat dilakukan, indeks kemampuan kolaps *superior vena cava* (SVC) dapat digunakan dengan *cut off*  $\geq$

36%. Indeks kemampuan kolaps SVC dihitung dengan persamaan berikut:<sup>21</sup>

$$\text{Indeks kemampuan kolaps SVC} = \frac{\text{SVC diameter maksimum} - \text{SVC diameter minimum}}{\text{SVC diameter minimum}} \times 100\%$$

**Gambar 4.** Persamaan indeks kemampuan kolaps SVC<sup>2</sup>

Parameter dinamis ekokardiografi yang paling sering digunakan pada FR yang memperhitungkan variasi aliran darah aorta (ABF) dan kecepatan (V), ditentukan oleh interaksi jantung-paru. Pertama, dengan melihat variasi kecepatan dopler maksimal ( $V_{peak}$ ) pada

*outflow* ventrikel kiri. Kedua, dengan melihat variasi VTI aorta, dengan rumus nilai maksimal – nilai minimal dan dibagi dengan reratanya. Didapatkan indeks ekokardiografi dinamis lebih unggul dibandingkan dengan statis.<sup>14</sup>

## RINGKASAN

CCE merupakan suatu modalitas non invasif dalam mengevaluasi kondisi pasien di ICU. Modalitas ini memiliki banyak manfaat dan keuntungan baik dalam mendiagnosis ataupun mengevaluasi terapi. Hasil pemeriksaan ekokardiografi dapat menjadi bagian penting dalam memandu keputusan klinis di ICU.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Vignon P. Critical care echocardiography: diagnostic or prognostic? *Ann Transl Med* 2020; 8: 909.
2. Soliman-Aboumarie H, Pastore MC, Galiatsou E, Gargani L, Pugliese NR, Mandoli GE. Echocardiography in the intensive care unit: An essential tool for diagnosis, monitoring and guiding clinical decision-making. *Imaging*. Epub ahead of print 5 November 2021. DOI: 10.1556/1647.2021.00055.
3. Salik JR, Sen S, Picard MH, Weiner RB, Dudzinski DM. The application of appropriate use criteria for transthoracic echocardiography in a cardiac intensive care unit. *Echocardiography*. 2019; 36: 631–638.
4. Pastore MC, Mandoli GE, Aboumarie HS, et al. Basic and advanced echocardiography in advanced heart failure: an overview. *Heart Fail Rev* 2020; 25: 937–948.
5. Lancellotti P, Price S, Edvardsen T, Cosyns B, Neskovic AN, Dulgheru R, et al. The use of echocardiography in acute cardiovascular care: recommendations of the European Association of Cardiovascular Imaging and the Acute Cardiovascular Care Association. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 2015; 4: 3–5.
6. Rajsic S, Breitkopf R, Bachler M, Trem B. Diagnostic Modalities in Critical Care: Point-of-Care Approach. *Diagnostics (Basel)* 2021; 11: 2202.
7. Pérez-Casares A, Cesar S, Brunet-Garcia L, Sanchez-de-Toledo J. Echocardiographic Evaluation of Pericardial Effusion and Cardiac Tamponade. *Front Pediatr* 2017; 5: 79.
8. Chuzi S, Rangarajan V, Jafari L, Vaitenas I, Akhter N. Subcostal View-Based Longitudinal Strain in Patients with Breast Cancer Is an Alternative to Conventional Apical View-Based Longitudinal Strain. *J Am Soc Echocardiogr* 2019; 32: 514-520.e1.
9. Longobardo L, Zito C, Caretj S, Caracciolo G, K Khandheria B. Role of Echocardiography in the Intensive Care Unit: Overview of the Most Common Clinical Scenarios. *J Patient Cent Res Rev* 2018; 5: 239–243.
10. Makhija N, Magoon R, Balakrishnan I, Das S, Malik V, Gharde P. Left Ventricular Outflow Tract Obstruction Following Aortic Valve Replacement: A Review of Risk Factors, Mechanism, and Management. *Ann Card Anaesth* 2019; 22: 1–5.
11. Burk RE, Beesley SJ, Grissom CK, Hirshberg EL, Lanspa MJ, Brown SM. Echocardiography in the Intensive Care Unit. *Curr Cardiovasc Imaging Rep* 2017; 10: 39.
12. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, Hua L, Handschumacher MD, Chandrasekaran K, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European

- Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010; 23: 685–713; quiz 786–788.
13. Hassan AKM, Ahmed H, Ahmed Y, Elfadl AA, Omar A. Efficacy and safety of hydro-mechanical defragmentation in intermediate- and high-risk pulmonary embolism. *Egypt Heart J* 2021; 73: 84.
  14. Franchi F, Vetrugno L, Scolletta S. Echocardiography to guide fluid therapy in critically ill patients: check the heart and take a quick look at the lungs. *J Thorac Dis* 2017; 9: 477–481.
  15. Porpáczy A, Nógrádi Á, Vértés V, Füzési MT, Czirjáket L, Komócsi A, Faludi R. Left atrial stiffness is superior to volume and strain parameters in predicting elevated NT-proBNP levels in systemic sclerosis patients. *Int J Cardiovasc Imaging* 2019; 35: 1795–1802.
  16. Mercado P, Maizel J, Beyls C, Beauport DT, Joris M, Kontar L, et al. Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. *Crit Care* 2017; 21: 136.
  17. Rusinaru D, Bohbot Y, Djelaili F, Delpierre Q, Altes A, Serbout S, et al. Normative Reference Values of Cardiac Output by Pulsed-Wave Doppler Echocardiography in Adults. *Am J Cardiol* 2021; 140: 128–133.
  18. Tan C, Rubenson D, Srivastava A, Mohan R, Smith MR, Billick K, et al. Left ventricular outflow tract velocity time integral outperforms ejection fraction and Doppler-derived cardiac output for predicting outcomes in a select advanced heart failure cohort. *Cardiovasc Ultrasound* 2017; 15: 18.
  19. Via G, Tavazzi G, Price S. Ten situations where inferior vena cava ultrasound may fail to accurately predict fluid responsiveness: a physiologically based point of view. *Intensive Care Med* 2016; 42: 1164–1167.
  20. Aboelnile DBMK, Elseidy MIA, Kenawey YAEM, Elsherif IMAA. Prediction of fluid responsiveness in mechanically ventilated patients in surgical intensive care unit by pleth variability index and inferior vena cava diameter. *Ain-Shams J Anesthesiol* 2020; 12: 48.
  21. Bubenek-Turconi Ş-I, Hendy A, Băilă S, Drăgan A, Chioncel O, Văleanu L, et al. The value of a superior vena cava collapsibility index measured with a miniaturized transoesophageal monoplane continuous echocardiography probe to predict fluid responsiveness compared to stroke volume variations in open major vascular surgery: a prospective cohort study. *J Clin Monit Comput* 2020; 34: 491–499.