

TINJAUAN PUSTAKA

Pemantau Hemodinamik dari Invasif menuju Tidak Invasif

Loodie Ackly Agu,¹ Tatang Eka²

¹ Bagian Anestesiologi dan Terapi Intensif Rumah Sakit Advent Bandung,

² Rumah Sakit Dr. Hasan Sadikin Bandung

Abstrak

Pasien yang dirawat di unit perawatan intensif membutuhkan pemantauan hemodinamik, ketidakstabilan hemodinamik menyebabkan ketidakseimbangan antara pengiriman dan permintaan oksigen dan menjadi faktor penyebab utama gagal organ. Ketidakstabilan hemodinamik ini didasari atas 3 kelainan hemodinamik utama yaitu perubahan volume sirkulasi (hipovolemia), disfungsi jantung, dan perubahan tonus vaskular (misalnya syok vasoplegik pada sepsis) yang akan mengakibatkan disfungsi organ, gagal multi-organ dan akhirnya kematian. Perkembangan pemantau hemodinamik telah bergeser dari pemantau invasif menuju kurang invasif atau minimal invasif sampai tidak invasif, dikalibrasi atau tanpa kalibrasi dengan filosofi dari pendekatan statik menuju pendekatan fungsional. Metode pemantauan curah jantung didasarkan pada *Ficks principle*, *thermodilution*, *Doppler*, analisa kontur nadi dan *bioimpedance*. Pengenalan macam-macam pemantau hemodinamik sesuai klasifikasi dan mekanisme kerjanya sangat membantu dalam mengaplikasikan pada pasien yang bertujuan memandu manajemen medis dalam pencegahan atau terapi gagal organ agar mendapatkan hasil akhir pasien lebih baik. Direkomendasikan lebih memilih teknik tidak invasif atau kurang invasif daripada teknik lebih invasif; pendekatan dinamis (kontinyu) dari pada pendekatan statis (*intermitent*) dan menggunakan teknik yang dikalibrasi pada pasien kritis dan tidak stabil.

Kata kunci: Invasif, pemantau hemodinamik, semi invasif, tidak invasif

Hemodynamic Monitor from invasive to non invasive

Abstract

Patients treated in intensive care units require hemodynamic monitoring, hemodynamic instability causes an imbalance between oxygen delivery and demand and it is a major cause of organ failure. This hemodynamic instability is based on 3 major hemodynamic abnormalities, namely changes in circulating volume (hypovolemia), dysfunction heart and changes in vascular tone (eg vasoplegic shock in sepsis) which will lead to organ dysfunction, multi-organ failure and ultimately death. The development of hemodynamic monitors has shifted from invasive monitors to less invasive or minimally invasive to non-invasive, calibrated or without calibration with the philosophy of the static approach to the functional approach. The method of monitoring cardiac output is based on the Ficks principle, *thermodilution*, *Doppler*, pulse contour analysis and *bioimpedance*. Introduction to various hemodynamic monitors according to the classification and mechanism of action can help in applying to patients who aim to guide medical management in the prevention or treatment of organ failure to get better patient outcomes. It is recommended to prefer non-invasive or less invasive techniques than more invasive techniques; dynamic (continuous) approach rather than static (*intermitent*) approach and uses calibrated techniques in critical and unstable patients.

Key Words: Hemodynamic monitor, invasive, less invasive, non invasive

Korespondensi: Loodie Ackly, dr., SpAn, Rumah Sakit Advent Bandung, Jl. Larang Puspa No 6 Kota Baru Parahyangan Padalarang Bandung Email acklyag@yahoo.com

Pendahuluan

Pemantauan hemodinamik adalah pengamatan parameter fisiologi dari sistem kardiovaskular, dibutuhkan untuk pasien yang dirawat di unit perawatan intensif karena ketidakstabilan hemodinamik yang menyebabkan ketidakseimbangan antara pengiriman dan permintaan oksigen.¹ Ketidakstabilan hemodinamik ini didasari atas 3 kelainan hemodinamik utama, yaitu perubahan volume sirkulasi (hipovolemia), disfungsi jantung dan perubahan tonus vaskular (misalnya syok vasoplegik pada sepsis) yang akan mengakibatkan disfungsi organ, gagal multi organ, dan akhirnya kematian.^{1,2}

Pasien di unit perawatan intensif dibagi atas pasien dengan hemodinamik stabil dan tidak stabil. Pasien dengan hemodinamik stabil membutuhkan pemantauan tidak lebih dari elektrokardiografi kontinu, pengukuran tekanan darah tidak invasif secara regular, dan saturasi oxygen perifer (SpO₂). Pasien dengan hemodinamik tidak stabil atau berisiko tidak stabil harus mendapatkan akses arterial untuk pengukuran tekanan darah invasif kontinu dan analisa gas darah regular.¹ Pasien yang mendapat vasopresor dan inotropik memerlukan akses vena sentral untuk pemberian obat, pengukuran tekanan vena sentral, dan pemeriksaan saturasi oxygen vena sentral (ScvO₂). Bila resusitasi awal gagal memperbaiki hemodinamik dan status respirasi maka dibutuhkan pemantauan hemodinamik lanjut seperti curah jantung (CO), pulmonary arterial pressure (PAP), stroke volume variasi (SVV) dan lain-lain dalam menuntun management medis.¹

Pengukuran curah jantung (cardiac output=CO) dan komponennya (*preload, afterload dan contractility*) memberi informasi tentang perlunya resusitasi cairan, dan pemberian obat vasopresor atau obat inotropik. Digunakan juga sebagai alat yang menentukan type shock (*hypovolemic, cardiogenic, obstructive atau distributive*) sesuai profile hemodinamik.¹

Perkembangan pemantauan hemodinamik telah bergeser dari pemantau invasif kepada kurang invasif atau minimal invasif sampai teknik tidak invasif. Perangkat pemantau hemodinamik ini dapat diklasifikasikan berdasarkan kalibrasi

yang dibagi atas teknik kalibrasi atau tidak kalibrasi, berdasarkan tingkatan invasif (invasif, kurang atau minimal invasif, atau tidak-invasif) dan yang bersifat statis atau dinamis.^{1,3-5} Pada teknik kalibrasi dilakukan dengan maksud menghilangkan atau mengurangi bias pada pengukuran kontinu sehingga didapatkan hasil lebih akurat.^{1,5,6}

Metode pemantauan curah jantung didasarkan pada *Ficks principle, thermodilution, doppler, analisa kontur nadi, dan bioimpedance*.³ Syarat pemantau curah jantung yang ideal adalah harus kurang invasif atau tidak invasif, kontinu (dinamis), hemat biaya, dapat digandakan, dapat dipercaya selama perubahan fisiologis dan memiliki waktu respons yang cepat.⁸

Tujuan pemantauan hemodinamik adalah untuk menilai kecukupan perfusi, khususnya dalam mempertahankan kecukupan tekanan perfusi dalam penghantaran oxygen ke jaringan,⁹ sehingga didapatkan informasi klinik yang akan memengaruhi pembuatan keputusan medik, untuk melakukan intervensi sebelum terjadi komplikasi seperti gagal organ dan kematian.^{1,4} Jadi pemantauan hemodinamik berperan dalam diagnostik, terapi dan resusitasi.¹⁰

Disini akan dibahas pemantauan hemodinamik berdasarkan tingkatan invasif. (1) Invasif - termodilusi arteri pulmonal intermittent bolus, dan termodilusi arteri pulmonal kontinu; (2) Minimal invasif - pengenceran Lithium CO (LiDCO), analisis kontur nadi CO (PiCCO dan FloTrac), esophageal Doppler (ED), transesophageal echocardiography (TEE); dan (3) Tidak invasif - Partial gas rebreathing, thoracic bioimpedansi dan *bioactance, endotracheal cardiac output monitor* (ECOM), metode Doppler dan photoelectric plethysmografi.³

Pembahasan

Teknik Invasif

Kateter arteri pulmonalis (pulmonary artery catheter=PAC) (kalibrasi).

PAC sebagai standar emas, bisa ditempatkan melalui vena jugularis, subklavia, atau vena femoralis ke atrium kanan melewati ventrikel kanan sampai arteri pulmonal.^{1,3,11}

Memungkinkan pengukuran tekanan langsung di atrium kanan / tekanan vena sentral = *Central Venous Pressure* (CVP), tekanan arteri pulmonal / *Pulmonary Arterial Pressure* (PAP), dan tekanan baji / *Pulmonary Artery Occlusion pressure* (PAOP) secara serentak, yang pada gilirannya mengindikasikan tekanan pengisian di atrium kiri.^{1,9} Pengambilan sampel darah dari port distal (arteri pulmonal) memungkinkan pengukuran Saturasi vena sentral (SvO₂), dengan menggunakan *fiber optic reflectometry* yang memantau terus SvO₂. Curah jantung (CO) diukur dengan *thermodilution*, bolus *saline* dingin diberikan melewati atrium kanan, dan termistor yang terletak 4 sentimeter dari ujung kateter mendeteksi penurunan suhu.^{1,8} Pengukuran curah jantung ini, bagaimanapun bukanlah pemantauan kontinu yang sesungguhnya karena ia mewakili nilai rata-rata 5 menit terakhir, dan perubahan curah jantung selama *preload* atau *afterload* tidak dapat dinilai secara instan. PAC juga mengukur beberapa variabel seperti resistensi vaskular sistemik dan pulmonal, kerja *stroke* ventrikel kiri dan kanan, dan rasio ekstraksi oksigen. Elektroda intrakardiak memungkinkan pemantauan aktivitas listrik, dari mana variabel volumetrik seperti fraksi ejeksi ventrikel kanan (RVEF) dan penilaian kontinu dari volume diastolik akhir ventrikel kanan (CEDV) dapat diukur, memberikan informasi mengenai kontraktilitas ventrikel kanan dan *preload*.¹

Indikasi terbaik untuk PAC adalah gagal jantung ventrikel kanan atau hipertensi pulmonal, mengingat tidak ada perangkat pemantauan lain yang mampu memberikan pengukuran langsung terhadap tekanan di jantung kanan dan sirkulasi pulmonal.¹²

Curah Jantung Kontinu / *Continuous Cardiac Output* (CCO) diukur melalui PAC, (kalibrasi).

Pengukuran curah jantung kontinu melalui PAC adalah modifikasi PAC dengan filamen tembaga di kateter yang diletakkan di ventrikel kanan. Pemanasan intermiten darah di jantung kanan oleh filamen dan sinyal yang dihasilkan ditangkap oleh termistor dekat ujung kateter. Rata-rata nilai curah jantung yang diukur dari waktu ke waktu ditampilkan di monitor. Keuntungan utama CCO dibanding dengan PAC konvensional adalah

menghindari bolus berulang sehingga mengurangi risiko infeksi dan kesalahan operator. Selain itu, pemantauan terus menerus *stroke volume* (SV), resistensi pembuluh darah sistemik / *systemic vascular resistant* (SVR) dan saturasi vena campuran juga dapat dilakukan melalui kateter ini.³

Teknik kurang invasif

Termodilusi transpulmonal (*Transpulmonary thermodilution*):

- sistem PiCCO (kalibrasi).

Sistem PiCCO menggunakan kateter vena sentral (jugularis interna atau subclavia) dan jalur arteri (femoral atau radial) dengan termistor pada ujung kateter,^{12,13} menyediakan pengukuran curah jantung intermiten dan kontinu.^{3,4,11} Pengukuran curah jantung intermiten menggunakan teknik termodilusi transpulmonal, di mana bolus cairan dingin disuntikkan melalui jalur sentral dan perubahan temperatur darah dideteksi oleh termistor pada ujung kateter arteri.² Menggunakan algoritma yang didasarkan pada analisis kontur nadi arteri, memungkinkan pemantauan terus-menerus dari curah jantung dan *stroke volume*, variasi *stroke volume* dan curah jantung dalam kondisi *preload* yang berubah. Variasi *stroke volume* (SVV) dan variasi tekanan nadi (PPV) digunakan sebagai marker untuk respons cairan dalam perawatan pasien kritis yang disedasi dengan kontrol ventilasi mekanis dan tanpa aritmia jantung.³

Sistem PiCCO juga mengukur volume diastol global akhir / *global end diastolic volume* (GEDV), volume darah intrathoracic / *intrathoracic blood volume* (ITBV), dan cairan paru ekstrasvaskular / *extravascular lung water* (EVLW). Volume darah pulmonal / *pulmonary blood volume* (PBV), indeks permeabilitas pembuluh darah pulmonal / *pulmonary vascular permeability index* (PVPI), fraksi ejeksi global / *global ejection fraction* (GEF), kontraktilitas, dan tahanan pembuluh darah sistemik / *systemic vascular resistance* (SVR). Nilai-nilai ini dapat di index melalui area permukaan tubuh dan perkiraan berat badan.¹⁻³

Sistem VolumeView / EV1000 (kalibrasi).

Sistem VolumeView / EV1000 didasarkan pada analisa tekanan nadi yang dikalibrasi.³ Serupa

dengan sistem PiCCO tetapi berbeda dalam pengukuran *Global End Diastolic Volume* (GEDV), di mana ia menggunakan rumus yang mengimplementasikan waktu maksimum *upslope* dan *downslope* dari kurva termodilusi, sedangkan sistem PiCCO menggunakan konstanta waktu yang berasal dari penampilan rata-rata, transit rata-rata, *downslope* kurva termodilusi.¹

Pengenceran pewarna Transpulmonary (*transpulmonary dye dilution*): sistem LiDCO (kalibrasi).

Sistem LiDCO menggunakan lithium chloride yang disuntikkan melalui vena sentral atau perifer yang kemudian perubahan kadar lithium diukur oleh sensor selektif lithium dalam kateter arteri radial.² Pengukuran digabung dengan sistem analisis kontur nadi (LiDCOrapid/PulseCO). Satu-satunya variabel tambahan dibanding dengan pemantauan PAC adalah PPV dan SVV. Data curah jantung tersedia cepat dengan variasi denyut ke denyut secara *real-time*. Perhitungan Volume curah jantung tidak tersedia, dan teknik ini tidak dapat digunakan pada anak-anak / pasien dengan berat di bawah 40 kg atau pasien di bawah pengaruh relaksan otot (ion amonia amina yang bermuatan positif dideteksi oleh sensor lithium, mempengaruhi ukurannya). Diketahui memiliki kemungkinan sedikit efek toksik atau akumulasi toksik dengan penggunaan lithium jangka panjang.¹

Pengenceran aliran *ultrasound*: sistem COstatus (kalibrasi).

Sistem COstatus® menghitung curah jantung menggunakan teknologi pengenceran *ultrasound* transpulmonary untuk mengukur perubahan kecepatan *ultrasound* dalam darah dan aliran darah setelah penyuntikan saline. Membutuhkan satu set tabung arteriovenous extracorporeal (AV loop) yang terhubung antara kateter arteri standar in situ dan kateter vena sentral di mana dua sensor aliran-pengenceran *ultrasound* ditempatkan pada ujung arteri dan vena. Selama kalibrasi, pompa rol kecil digunakan untuk mensirkulasikan darah melalui loop AV dari arteri ke vena. Sensor *ultrasound* menyediakan kurva pengenceran *ultrasound* sehingga curah jantung dapat dihitung berdasarkan prinsip Stewart Hamilton. Setelah

dikalibrasi, curah jantung kontinu dapat dihitung melalui bentuk gelombang arteri. COstatus menghitung penunjuk volumetrik tertentu seperti volume total diastolik akhir (TEDV), volume darah sentral (CBV), dan volume sirkulasi aktif (ACV), yang dapat mendeteksi shunt intracardiac.¹

Kontur nadi dan analisis tekanan nadi (tidak dikalibrasi).

Beberapa perangkat menggunakan teknik analisis tekanan nadi untuk memperkirakan curah jantung. Kesulitannya adalah untuk memperkirakan curah jantung dari analisis tekanan nadi, seseorang bukan hanya memerlukan informasi tentang detak jantung dan tekanan darah tetapi juga harus membuat perkiraan tentang hubungan tekanan-volume aorta. Sebagian besar teknik yang digunakan saat ini didasarkan pada model tiga elemen yang mengintegrasikan impedansi karakteristik aorta, compliance arteri, dan resistensi vaskular sistemik. Model-model ini bekerja relatif baik pada pasien yang stabil tetapi kurang akurat pada pasien yang tidak stabil atau ketika menggunakan obat vasoaktif. Ada tersedia beberapa perangkat yang menggunakan analisa tekanan nadi: ¹

FloTrac® / Vigileo®: metode yang banyak digunakan menggunakan variasi tekanan nadi (PPV) dan tonus vaskular untuk menghitung stroke volume, cardiac index dan curah jantung, meskipun kurang bermanfaat dalam situasi dengan tonus vaskular rendah (misalnya syok septik).^{1,7}

ProAQT® / Pulsioflex®: mengukur CO secara terus-menerus dengan menganalisis bagian sistolik dari gelombang tekanan setelah kalibrasi otomatis awal (tergantung pada karakteristik pasien) atau secara manual memasukkan indeks jantung awal; Namun demikian, kesalahan

LiDCOrapid® / pulseCO®: menggunakan algoritma yang sama seperti dalam LiDCOplus dengan menghitung angka stroke volume dari seluruh bentuk gelombang tekanan. Dapat dikalibrasi menggunakan teknik lain. Namun tidak cukup akurat dibandingkan dengan metode termodilusi. Kalibrasi meningkatkan akurasi

(bahkan pada pasien sakit kritis) hanya untuk empat jam pertama.^{1,7}

Most Care®/ Metode analitik pencatatan tekanan (PRAM): menggunakan suatu algoritma yang disebut “metode analisa pencatatan tekanan”, yang merupakan metode teoritis yang dikembangkan dengan menganalisis baik denyutan dan aliran kontinu; hanya diperlukan

kateter arteri invasif, penerapannya mudah, dan ini menunjukkan akurasi yang baik dalam berbagai pengaturan.^{1,7}

Ekokardiografi transesofageal (TEE) (tergantung operator). **ClariTEE®**¹²

Transesophageal echocardiography (TEE) adalah alat diagnostik cardio-vascular yang penting

Metode	Nama Alat	Kalibrasi/ tidak	Keuntungan	Kerugian
Metode invasif				
<i>Pulmonari artery catheter</i>	Vigilance Pulmonary Artery Catheter	Kalibrasi	Pengukuran langsung di atrium kanan dan sirkulasi pulmonary, SvO ₂	Lambat dalam menentukan CO, paling invasif dan berisiko
<i>Continuous cardiac output (modifikasi PAC)</i>	<i>Continuous cardiac output catheter</i>	Kalibrasi	Pengukuran curah jantung kontinu	Paling invasif dan berisiko
Metode kurang Invasif				
<i>Transpulmonary termodilution</i>	PiCCO, Volume View/EV1000	Kalibrasi	Intermittent, continue CO ditambah variable (SV, SVV)	Perlu jalur spesial arteri dan vena sentral (terbatas system PiCCO)
<i>Liithium dilution</i>	LiDCO plus			
<i>Ultrasound flow dilution</i>	COstatus	Kalibrasi	Kontinue CO, variable, mendeteksi <i>intracardian shunt</i> kontinu CO	Memerlukan AV loop
<i>Pulse contour and pulse pressure variation</i>	FloTrac/vigileo Pro AQT/Pulsioflex LiDCO rapid/Pulse CO Most Care/PRAM	Tidak dikalibrasi	Kontinu CO	Kurang akurat pada pasien tidak stabil atau selama menggunakan obat vasoaktif
<i>Transesophageal echocardiography</i>		Tergantung operator	Waktu sesungguhnya dari gambar struktur jantung dan aliran darah	Risiko komplikasi rendah
<i>Esophageal Doppler</i>	Cardio Q	Tergantung operator	Waktu sesungguhnya CO dan data <i>after load</i> , ditambah variabel	Risiko dislokasi
Metode tidak infasif				
<i>Transthoracic Echocardiography</i>		Tergantung operato	Pengukuran langsung CO dan visualisasi struktur jantung	Karakter <i>ultrasound</i> sering supotimal pada pasien ICU
Sistem Kontur nadi tidak invasif	T-line ClearSight/nexfin Finometer CNAP/VERIFY	Tidak dikalibrasi	Non invasive, alat sederhana	Kurang akurat, perlu banyak validasi

Bioimpedance	ECOM (endotracheal) TEBCO, PHYSIO FLOW, LIFEGUARD BioZ (thoracal)	Tidak dikalibrasi	Alat sederhana, menyiapkan data CO dan cairan berlebihan	Perubahan isi cairan intrathoracic dan SVR memengaruhi pengukuran
<i>Estimated continuous cardiac output</i>	esCCO	Tidak dikalibrasi	Digunakan secara luas dan tersedia variable memperkirakan CO	Hanya mengestimasi, pakurasi tidak adekuat
<i>Ultrasound Cardiac output monitoring Doppler</i>	USCOM (transthoracic) CardioQ (transesophageal)	Tidak dikalibrasi	Kurva belajar pendek dan sedikit risiko	Hanya mengestimasi, penggunaan area katup standard berbeda tiap pasien
<i>Fick Principle Partial CO₂ rebreathing Dye dilution</i>	NICO	Tidak dikalibrasi	Tidak perlu alat intravaskular	Hanya pada pasien tersedasi dengan ventilasi volume control, berhubungan penyakit paru
<i>Thoracic Bioreactance Photoelectric plethysmography</i>	NICOM HD Nexfin	Tidak dikalibrasi		Akurasi curah jantung absolut terbatas

Sumber: 1,3,4,6,7,12-14

dalam perioperatif dan perawatan kritis medik. Menggunakan *ultrasound* yang pada saat itu memberikan gambaran struktur jantung dan aliran darah. Transduser ditempatkan di esophagus di sebelah jantung untuk menghasilkan gambar-gambar. Dapat membantu menentukan kelainan patofisiologi pada pasien seperti kelainan gerakan dinding, efusi perikardial, hipertensi pulmonal, dan valvulopathy, bersamaan dengan pemantauan invasif atau kurang invasif lainnya. Pedoman yang diterbitkan oleh *American Society of Anesthesiologists* dan *Society of Cardiovascular Anesthesiologists* menyatakan bahwa TEE harus digunakan pada pasien perawatan kritis dengan hipotensi persisten atau hipoksia ketika informasi diagnostik yang diharapkan untuk mengubah manajemen tidak dapat diperoleh dengan *transthoracic echocardiography* (TTE) atau modalitas lainnya.¹

Doppler Esofagus (Esophageal doppler) CardioQ® (tergantung operator).

Menggunakan probe fleksibel *ultrasound* dengan transduser pada ujungnya, aliran darah aorta desendens diukur untuk menentukan stroke volume dan curah jantung. *Probe* ini dapat

dibiarkan di tempat dalam jangka waktu yang lama (kecuali dislokasi) dan dapat memberikan interpretasi data curah jantung dan *afterload*. Dopler Esofagus memberikan banyak pengukuran tambahan serta perkiraan *preload*.¹⁻³

Teknik Tidak Invasif

Ekokardiografi transthoracic /Transthoracic Echocardiography (TTE). (tergantung operator).

Curah jantung dapat diukur dengan TTE menggunakan kecepatan gelombang denyut Doppler di saluran keluar ventrikel kiri /*left ventricular outflow tract* (LVOT). Juga dapat diukur pada anulus katup mitral, ascending aorta, saluran keluar ventrikular kanan /*right ventricular outflow tract* (RVOT), dan arteri pulmonalis, tetapi ketepatannya kurang. Tampaknya ada sedikit pengaruh dari resistensi pembuluh darah sistemik (SVR), pengukuran RVOT dapat memberikan hasil curah jantung yang akurat, bila tidak ada gangguan karena hipertensi arteri pulmonalis.¹

Sistem kontur nadi tidak invasif /

Non-invasive pulse contour systems. (tidak dikalibrasi). Sistem ini menentukan curah jantung berdasarkan kurva tekanan denyut arteri, yang diperkirakan sepenuhnya dengan teknik tidak invasif.

T-line®: sistem ini menggunakan tonometri applanasi (dengan sensor tekanan ditempatkan pada arteri radial) dan algoritma autokalibrasi untuk memperkirakan curah jantung; memiliki ketepatan yang dapat diterima dibandingkan dengan analisis kontur nadi yang dikalibrasi tetapi membutuhkan lebih banyak validasi.

ClearSight®/Nexfin®/system: memperkirakan tekanan darah melalui manset yang mengelilingi jari dan photoplethysmography secara konstan menyesuaikan tekanan manset untuk menjaga diameter arteri konstan, sehingga menciptakan kurva tekanan nadi (prinsip Peñáz) digunakan untuk memperkirakan stroke volume, CO, SVV, dan PPV; Namun, akurasi masih perlu perbaikan pada pasien dengan curah jantung rendah, edema jari-jari, hipotermia, atau tahanan perifer yang tinggi.¹

CNAP® / VERIFY®: menggunakan teknik yang sama dengan photoplethysmography tetapi untuk memperbaiki perubahan-perubahan dalam aktivitas vasomotor digunakan algoritma spesifik; meskipun dilaporkan persentase kesalahan yang tinggi, ternyata lebih rendah ketika menggunakan prekalibrasi dengan teknik termodilusi. Masih perlu validasi lebih lanjut.¹

Bioimpedansi (tidak dikalibrasi). ECOM, TEBCO, LIFEGARD, PHYSIO FLOW, BioZ.^{1,12,13}

Menggunakan elektroda kulit dengan arus listrik kecil. Perubahan tegangan di sirkuit disebabkan oleh perubahan impedansi dan/atau volume jaringan pengantar. Darah memiliki resistivitas yang relatif rendah, dan perubahan volume darah intrathoracic memiliki pengaruh yang tinggi pada impedansi. Dengan asumsi ini, kita dapat mendalilkan bahwa perubahan didalam impedansi toraks sangat bergantung pada tiga komponen: impedansi dasar secara tidak langsung sebanding dengan isi cairan toraks, perubahan tidal volume darah intratorak yang disebabkan oleh pernapasan, dan perubahan kecil yang disebabkan oleh siklus jantung. Selanjutnya adalah perubahan volume aorta, digunakan untuk

memperkirakan stroke volume dan curah jantung. Namun, bioimpedance memiliki beberapa keterbatasan penting. Impedans dipengaruhi perubahan komposisi cairan dalam toraks seperti edema paru dan efusi pleura. Perubahan resistensi vaskular sistemik akan mempengaruhi perubahan volume aorta dan oleh karena itu akan mempengaruhi pengukuran curah jantung.^{1,3}

ECOM

Mengukur curah jantung menggunakan plethysmography impedansi. Didasarkan pada prinsip bioimpedansi dan arus dilewatkan melalui elektroda yang melekat pada batang dan manset dari endotrakeal tube. Arus dilewatkan dari elektroda pada saluran endotrakeal tube dan perubahan impedansi sekunder terhadap aliran darah aorta dideteksi oleh elektroda pada manset endotrakeal tube. Perhitungan algoritma stroke volume didasarkan pada perubahan impedansi dan curah jantung dapat dihitung. Impedansi dipengaruhi oleh aliran darah aorta.³

Perkiraan curah jantung kontinu /Estimated continuous cardiac output (esCCO®). (tidak dikalibrasi).

Ini adalah perangkat non-invasif yang memperkirakan curah jantung dengan algoritma yang didasarkan pada karakteristik pasien dan pengukuran denyut jantung (ECG), saturasi oksigen perifer, dan tekanan darah non-invasif.^{1,2} Dengan pengukuran ini, waktu transit gelombang nadi ditentukan dan kombinasi dengan denyut jantung untuk memperkirakan curah jantung. Meskipun memiliki keuntungan sebagai non-invasif, tetapi hanya memperkirakan curah jantung.¹

Pemantauan Curah jantung ultrasonik / Ultrasonic cardiac output monitoring (USCOM®). (tidak dikalibrasi).

Mengukur kecepatan aliran dalam saluran keluar aorta dan pulmonal, USCOM® menggabungkan hal ini dengan pra-kalkulasi dari area katup untuk memperkirakan curah jantung. Memerlukan waktu pendek untuk belajar dengan risiko prosedural rendah. Namun demikian, cukup banyak pencitraan yang tidak dapat dicapai, daerah katup yang diusulkan dapat berbeda

secara bermakna dari sebenarnya (khususnya pada pasien usia lanjut, pasien yang sakit kritis, dan pasien dengan penyakit jantung struktural), dan terdapat perbedaan besar antara perkiraan *output* dan nilai referensi yang dikalibrasi.¹

Sistem pemantauan curah jantung berasal dari pernapasan: partial CO₂ rebreathing / Non Invasive Cardiac Output (NICO) (tidak dikalibrasi).

Dikenal sebagai NICO sistem atau monitor partial gas *re-breathing* dan menggunakan CO₂ gantinya O₂ sebagai indikator dan menggunakan *Fick's principle indirect* untuk menghitung curah jantung. Digunakan pada pasien yang terintubasi dengan ventilasi mekanis.^{1,3,7} Sistem ini terdiri dari CO₂ dan sensor aliran udara yang dikombinasikan dengan pulse oksimeter.¹ Pada keadaan stabil, jumlah CO₂ yang memasuki paru-paru melalui arteri pulmonalis proporsional dengan curah jantung dan sama dengan jumlah yang keluar dari paru-paru melalui ekspirasi dan vena pulmonalis. Selama 30 detik *rebreathing*, jumlah yang masuk tidak berubah, tetapi jumlah hilang melalui ekspirasi berkurang dan end tidal CO₂ meningkat sebanding dengan curah jantung.^{1,13,14} Curah Jantung (CO) dihitung menurut rumus berikut: $CO = VCO_2 / C_vCO_2 - CaCO_2$

VCO₂ adalah konsumsi CO₂, CaCO₂ dan C_vCO₂ adalah kandungan CO₂ arteri dan vena. Tingkat difusi karbon dioksida adalah 22 kali lebih cepat daripada oksigen, diasumsikan bahwa tidak ada perbedaan dalam CO₂ vena (C_vCO₂) akan terjadi, apakah dalam kondisi normal atau *rebreathing*. Sirkuit sekali pakai dihubungkan ke sirkuit ventilator bersama dengan sensor inframerah CO₂, pneumotachometer dan katup *rebreathing*. Parsial *rebreathing* dimulai setiap tiga menit dengan membuka katup dan aliran darah pulmonal, curah jantung dihitung dari perbedaan antara rasio normal dan *rebreathing*.^{1,3,7,13} Keadaan ini dapat digunakan pada pasien dengan sedasi penuh dan ventilasi volume control.¹ Penyakit paru yang signifikan (sindrom gangguan pernafasan akut, pneumonia, *atelectasis*, *shunting*, trauma paru berat dan minute ventilasi rendah) dapat mengganggu pengukuran.^{1,3} Hingga saat ini, data belum mencukupi untuk mendukung keakuratannya,

khususnya pada pasien yang sakit kritis.¹

Thoracic Bioreactance NICOM

Thoracic Bioreactance adalah modifikasi *thoracic bioimpedance* yang menghindari interferensi dari kebisingan dan sumber eksternal. Menganalisa perubahan sinyal tegangan listrik ke arus yang melintasi toraks. Perubahan dalam kapasitif elektrik dan induktif terjadi sekunder terhadap perubahan volume intrathoracic.

Metode ini meletakkan dua elektrode di kedua sisi thorax. Aliran gelombang sinus frekuensi tinggi (75 kHz) ditransmisikan ke dalam tubuh melalui satu elektroda dan elektroda lainnya digunakan sebagai penguat input tegangan. Rata-rata dari dua electrode akan memberikan nilai akhir. Keuntungan utama adalah mudah digunakan pada pasien terintubasi, aritmia dan di ER, ICU dan OR.³

Photoelectric plethysmography

HD Nexfin adalah alat analisis tekanan nadi tidak invasif yang menilai tekanan nadi menggunakan plethysmography fotoelektrik dalam kombinasi dengan teknik *volume-clump* (manset jari yang bisa ditiup). Curah jantung dihasilkan oleh metode model *flow*.³

Ringkasan untuk semua perangkat pemantau hemodinamik dapat di lihat pada table 1.

Simpulan

Kateter arteri pulmonal menjadi standar emas pemantauan hemodinamik pada pasien sakit kritis yang sering mengalami ketidakstabilan hemodinamik (atau berisiko menjadi tidak stabil).

Kateter arteri pulmonal sangat berguna pada pasien dengan disfungsi jantung signifikan, khususnya ketika mengenai disfungsi ventrikel kanan atau hipertensi pulmonal. Karena penggunaan kateter arteri pulmonal mempunyai risiko besar maka telah dikembangkan metode yang kurang invasif bahkan yang tidak invasif. Ada beberapa teknik pemantauan hemodinamik, mulai dari invasif hingga yang kurang/minimal invasif dan bahkan tidak invasif. Bersifat kontinu atau intermitten. Teknik-teknik ini dapat dikalibrasi atau tidak dikalibrasi. Teknik yang dikalibrasi memberikan ketepatan dan

akurasi terbaik untuk menghasilkan nilai-nilai curah jantung, *preload*, *afterload*, dan berbagai nilai lainnya yang bermakna dalam stabilisasi hemodinamik pasien sakit kritis. Mengandalkan teknik tanpa kalibrasi dapat menyulitkan dokter dalam menangani pasien sakit kritis, di mana kondisi perubahan yang cepat pada *preload*, tonus vasomotor, dan fungsi jantung yang sering menyebabkan hasil yang menyesatkan, dengan risiko manajemen medis yang tidak sesuai, resusitasi kurang atau berlebihan dan terjadi disfungsi organ. Teknik tidak kalibrasi dapat bernilai terutama dalam kondisi stabil.

Teknik semi atau tidak invasif menghilangkan kemungkinan komplikasi karena teknik yang lebih invasif. Analisis kontur nadi, khususnya tambahan variabel fungsional SVV dan PPV dapat memberi nilai penting dengan asumsi bahwa pasien berada dalam irama sinus regular dan dengan ventilasi mekanik terkontrol dibawah pengaruh sedasi penuh. Seperti yang sering dibutuhkan dalam manajemen medis pasien sakit kritis, kita harus menyeimbangkan manfaat dan risiko dari teknik yang berbeda dengan harapan mencapai hasil terbaik bagi pasien.

Direkomendasikan lebih memilih teknik yang tidak invasif atau kurang invasif daripada yang lebih invasif; bersifat dinamis (kontinu) dari pada statis (intermittent) dan menggunakan teknik yang dikalibrasi pada pasien yang sakit kritis dan tidak stabil. Selama de-resusitasi teknik pemantauan harus dievaluasi kembali (demikian juga ketika pasien memburuk lagi) dan teknik tidak invasif harus digunakan bila memungkinkan sebagai pengganti semi invasif.

Daftar Pustaka

- Huygh J, Peeters Y, Bernard J, Malbrain MLNG. Hemodynamic monitoring in the Critically ill: an overview of current cardiac output monitoring methods. *F1000Research* 2016;5: 2855.
- Teboul JL, Saguel B, Cecconi M, De Backer D, Hofer CK, Monnet X, dkk. Less invasive hemodynamic monitoring in critically ill patients. *Inten Care Med*. 2016;42(9):1350–
- Mehta Y, Arora D. Newer methods of cardiac output monitoring. *World J Cardiol* 2014;6(9):1022–9.
- Ramsingh D, Alexander B, Cannesson M. Clinical review: does it matter which hemodynamic monitoring system is used? *Crit Care* 2013;17(2):208.
- De Backer D. What is the role of invasive hemodynamic monitoring in critical care?. Dalam : Deutschman CS, Neligan PJ, penyunting. *Evidence-Based Prac Crit Care*. Elsevier; 2016. Hlm. 83–7
- Peeters Y, Benard J, Mekeirele M, Hoffmann B, De Raes M, Malbrain MLNG. Hemodynamic monitoring: to calibrate or not to calibrate?, Part 1 – Calibrated techniques. *Anesthesiol Intens Ther*. 2015;47(5):109–122.
- Bernards J, Mekeirele M, Hoffmann B, Peeters Y, De Raes M, Malbrain MLNG. Hemodynamic monitoring: to calibrate or not to calibrate? Part 2-Non-calibrated techniques. *Anesthesiol Intens Ther* 2015;47(5):123–38.
- Walters EL, Nguyen HB. Hemodynamic and perfusion monitoring. Dalam: Farcy DA, Chiu WC, Flaxman A, Marshall JP, penyunting. *Critical care emergency medicine*. McGraw Hill; 2011. Hal 117–26.
- Adler AC, Sharma R, Higgins T, Mc-Gee WT. Hemodynamic assessment and monitoring in the Intensive Care Unit: an Overview. *J Anesthesiol Crit Care Med*. 2014;1(4):010.
- Kipnis E, Ramsingh D, Bhargava M, Dicer E, Cannesson M, Broccard dkk. Monitoring in the intensive care. *Crit Care Res Pract*. 2012;2012:473507.
- Marik PE. Noninvasive cardiac output monitors. A state-of the-Art Review. *J Cardiothorac Vasc Aneth*. 2013;27 (1):121–34.
- Sakka G S. Hemodynamic monitoring in the critically ill patient – current status and perspective. *Front Med*. 2015;3(2):44.
- Truijen J, Lieshout JJ, Wesselink WA, Westerhof BE. Noninvasive continuous hemodynamic monitoring. *J Clin Monit Comput*. 2012; 26:267–78.

1. Drummond KE, Murphy E. Minimally invasive cardiac output monitor. Continuing Education in Anesthesia, Crit Care Pain. 2012;12(1):5–10.