

**Buku Ajar**

# **PEMANTAUAN HEMODINAMIK PASIEN**

**Dr. dr. Robert Hotman Sirait, Sp.An**



**Editor: dr. Frits R.W. Suling, Sp.JP (K),FIHA.,FACC**



**UKI Press  
Jakarta**

**Buku Ajar**  
**PEMANTAUAN**  
**HEMODINAMIK PASIEN**

**Editor:**

**dr. Frits R.W. Suling, Sp.JP (K),FIHA.,FACC**

**Penulis:**

**Dr. dr. Robert Hotman Sirait, Sp.An**

**ISBN : 9786236789056**

**Korespondensi.**

**Robert HS. Departemen Anestesiologi dan Terapi**

**Intensif FK UKI Jakarta**

**Email: [sirait.rh@gmail.com](mailto:sirait.rh@gmail.com)**

**ISBN : 9786236789056**

**Penerbit: FK UKI**

Redaksi: Jl. Mayjen Sutoyo No.2 Cawang Jakarta  
13630 Telp. (021) 8092425

Cetakan I Jakarta: UKI Press 2020

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak Sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

*Pasal 113 ayat (4) UU. No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta:*

Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/ atau tanpa izin pencipta atau pemegang hak cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (*sepuluh*) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,- (*empat miliar rupiah*)

## **Kata Pengantar**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Pengasih, oleh anugerahNya buku ajar Pemantauan Hemodinamik Pasien di kamar operasi dan unit terapi intensif (UTI) dapat diselesaikan dan diterbitkan oleh penulis. Buku kecil ini ditulis untuk memperkenalkan dan memberikan pemahaman kepada mahasiswa kedokteran dan para tenaga medis lainnya betapa pentingnya melakukan pemantauan hemodinamik bagi pasien yang menjalani operasi-operasi besar di kamar bedah dan juga pasien-pasien kritis yang sedang menjalani perawatan di unit terapi intensif.

Buku ini tidak hanya berisi komfilasi informasi atau catatan mengenai monitoring hemodinamik pasien, namun juga bermanfaat bagi para petugas medis dalam memilih dan mempersiapkan alat-alat monitoring hemodinamik yang akan digunakan untuk menolong pasien sesuai dengan indikasi klinis.

Kami menyadari bahwa isi buku kecil ini jauh dari sempurna, oleh sebab itu penulis dengan senang hati

menerima saran dan kritik dari para pembaca yang budiman untuk melengkapinya di masa mendatang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Frits RW Suling, dr., SpJ (K) yang telah bersedia menjadi editor, Erica G. Simanjuntak, dr., SpAn., KIC selaku kepala departemen Anestesiologi FK UKI yang telah berkenan memberikan kata sambutan, dan seluruh staff dosen anestesiologi FK UKI untuk semua kerjasama yang sudah terbina selama ini. Penulis juga tak lupa mengucapkan terimakasih untuk UKI Press yang telah memberikan saran dan bantuan dalam penerbitan buku ini.

Akhir kata, penulis berharap agar para pembaca dapat menikmati isi buku ini dan memperoleh manfaat yang dapat digunakan dalam menjalankan tugas sehari-hari.

Jakarta, Oktober 2020

DR. dr. Robert H. Sirait, Sp.An

## **Sambutan Kepala Departemen Anestesiologi FK UKI**

Salam sejahtera bagi kita semua.

Buku ajar tentang Pemantauan Hemodinamik Pasien masih langka ditemukan dalam tulisan bahasa Indonesia di perpustakaan Indonesia. Oleh karena itu, kami menyambut baik dan gembira karya sejawat DR. Robert Hotman Sirait, dr., Sp.An yang menulis buku ini. Suatu hal yang menggembirakan bagi kami, usaha penulisan buku ini kami anggap dapat membantu mahasiswa kedokteran dan para tenaga medis lainnya untuk memahami dan meluaskan wawasannya betapa pentingnya untuk melakukan pemantauan hemodinamik pasien yang sedang menjalani operasi di kamar bedah maupun untuk pasien-pasien kritis yang sedang menjalani perawatan di ruang unit terapi intensif (UTI).

Semoga usaha penulisan buku ini mendapat sambutan baik dari para pembaca khususnya masyarakat kesehatan dan memperkaya khazanah perpustakaan ilmu kedokteran. Akhir kata, atas nama Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif FK UKI saya mengucapkan selamat bagi penulis, dan kami menanti tulisan-tulisan berikutnya.

Jakarta, Oktober 2020

Erica G. Simanjuntak, dr., SpAn., KIC

## DAFTAR ISI

<b>NO.</b>	<b>JUDUL</b>	<b>HALAMAN</b>
1.	Kata Pengantar .....	I
2.	Kata Sambutan Kepala Departemen Anestesi FK UKI.....	III
3.	Daftar Isi.....	IV
4.	Bab I. Pendahuluan.....	1 - 5
5.	Bab II. Pemantauan Hemodinamik Pasien Tidak Langsung (Non Invasif).....	6 - 30
6.	2.1 Kesadaran.....	6 - 8
7.	2.2 Tekanan Darah.....	8 - 13
8.	2.3 Tekanan Vena Jugularis.....	13 - 14
9.	2.4 <i>Capillary Refill Time</i> (CRT).....	14 - 15
10.	2.5 Steteskop Precordial Dan Esofagus.....	15 - 16
11.	2.6 Suhu tubuh.....	16 - 17
12.	2.7 Produksi Urin.....	17 - 18

13.	2.8	Elektrokardiogram.....	18 - 22
14.	2.9	Oksimetri Nadi.....	22 - 25
15.	2.10	Kapnograf.....	26 - 27
16.	2.11	Ekokardiografi.....	27 - 28
17.	2.12	Bentuk Gelombang Nadi.....	28 - 29
18.	2.13	Dopler Esophagus.....	29
19.	2.14	Bioimpedans Elektrik Dinding Dada.....	30
20.	Bab III.	Monitoring Hemodinamik Pasien Langsung (Invasif) .....	31 - 57
21.	3.1	Tekanan darah.....	31 - 34
22.	3.2	Tekanan Vena Sentralis.....	34 - 42
23.	3.3	Kateter Arteri Pulmonalis.....	42 - 57
24.	Bab IV.	Monitoring Hemodinamik Pasien Khusus (Aliran Darah Regional).....	58
25.	4.1	Elektroensefalogram.....	58
26.	4.2	Evoked potentials (EP).....	58
27.	4.3	Stimulasi saraf	



	tepi.....	59
28.	4.4 Tonometri lambung.....	59 - 60
29.	4.5 Saturasi oksigen jugular bulb (SJ <sub>O</sub> <sub>2</sub> ).....	61
30.	Bab V. Kesimpulan.....	62 - 63
31.	Bab VI. Kepustakaan.....	64 - 71
32.	Index.....	72 - 73

# **PEMANTAUAN HEMODINAMIK PASIEN**

Robert H. Sirait

## **Bab I**

### **Pendahuluan**

Seorang dokter anestesi setelah selesai melakukan tindakan anestesi/ pembiusan terhadap pasien yang akan di operasi, tugas dan tanggung jawab penting berikutnya adalah mengawasi, menjaga, dan memelihara fungsi fisiologi organ vital pasien tersebut supaya tetap berada dalam batas normal. Stress pembedahan dan anestesia yang timbul selama operasi akan mempengaruhi fungsi fisiologi organ-organ vital pasien terutama bila pasien-pasien tersebut disertai dengan penyulit/ morbiditas seperti pada penyakit kardiovaskuler, penyakit paru obstruksi kronis, pasien usia lanjut, operasi-operasi rumit dan lama. Agar fungsi fisiologi organ vital pasien yang di operasi tersebut terjaga dalam batas normal, dokter anestesia harus siaga memonitor hemodinamik pasien secara terus menerus sehingga setiap kejadian yang timbul merugikan keselamatan pasien dapat cepat terdeteksi dan dengan segera pula dapat diatasi apakah akan diberikan tambahan obat, mengurangi dosis obat, atau mempercepat tetesan infus cairan sesuai dengan indikasi klinis <sup>(1,2,3)</sup>.

Sehingga dengan demikian dokter bedah dapat terus bekerja dengan baik dan aman untuk menolong keselamatan pasien. Beberapa tugas dan tanggung jawab dokter anestesi di Rumah Sakit <sup>(4,5)</sup>.

1. Memfasilitasi berbagai tindakan medis yang dilakukan di Unit gawat darurat (UGD), kamar bedah, ruang perawatan, kamar bersalin, ruang diagnostik/ radiologi untuk menghilangkan rasa nyeri, rasa takut, baik sebelum, selama, dan sesudah tindakan tersebut.
2. Memeriksa dan mengevaluasi pasien-pasien yang dikonsul untuk pembedahan di poli anestesi atau di ruang perawatan.
3. Mengawasi, menjaga, dan mempertahankan fungsi fisiologi organ vital pasien yang mengalami stres pembedahan dan anestesia di kamar bedah.
4. Mengelola penderita yang tidak sadar oleh sebab apapun.
5. Mengelola penderita yang mengidap nyeri membandel/ kronik.
6. Mengelola masalah resusitasi jantung, paru, dan otak.
7. Mengelola pasien-pasien gagal napas di unit terapi intensif (UTI).

8. Mengelola berbagai gangguan cairan, elektrolit, dan metabolit di unit terapi intensif.

Untuk memantau hemodinamik pasien selama menjalani operasi seorang dokter anestesi memerlukan alat-alat untuk monitor semua fungsi fisiologi tersebut. Yang dimaksud dengan hemodinamik adalah aliran darah dalam sistim pembuluh darah dengan satu pompa penggerak yaitu jantung. Hemodinamik berfungsi untuk mengalirkan darah bersih yang banyak mengandung oksigen dan nutrisi untuk menghasilkan energi yang diperlukan organ-organ vital dan non vital tubuh serta untuk mengangkut sisa-sisa metabolisme ke sistim pembuluh darah vena. Hemodinamik dikatakan baik bila volume/ komponen darah cukup, kontraktilitas jantung baik, dan tahanan pembuluh darah sistemik (*systemic vascular resistancy*) baik sehingga semua organ-organ tubuh dapat berfungsi dengan baik.

Pemantauan hemodinamik pasien adalah sarana untuk menilai status sistim kardiovaskuler seorang pasien apakah berfungsi baik dengan menggunakan alat-alat monitor medis dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari seluruh rangkaian proses pengumpulan data penyakit dan kondisi klinis penderita mulai dari anamnesis, pemeriksaan fisik dan berbagai pemeriksaan penunjang lain

yang diperlukan sesuai dengan indikasi seperti pemeriksaan laboratorium darah rutin, fungsi hati, laboratorium urin, pemeriksaan radiologi, rekam jantung, dan lain-lain.

Hemodinamik pasien yang menjalani operasi dalam anestesi umum dikatakan dalam batas normal bila semua organ vital berfungsi dengan baik, misalnya: tekanan darah dalam batas normal, nadi tidak takikardi atau bradikardi, saturasi oksigen baik, warna kulit tidak sianosis, gambaran elektrokardiogram dalam batas normal, dan produksi urin normal.

Data-data hemodinamik yang diperoleh di evaluasi secara cermat dan teliti serta digabungkan dengan seluruh kondisi klinis pasien, sehingga dokter anestesi/ klinikus dapat dengan segera melakukan intervensi/ tindakan terhadap gangguan kardiovaskuler yang timbul. Berapa banyak parameter hemodinamik pasien yang akan dipantau tergantung dari kondisi penyakit penderita, sarana-prasarana alat monitor hemodinamik yang tersedia di rumah sakit tersebut serta ketrampilan si dokter anestesi memasang peralatan monitor tersebut dan ketepatan menginterpretasikan data-data yang diperoleh untuk mengoptimalkan kondisi pasien.

Sekalipun demikian sarana pemantauan hemodinamik tidak dapat menggantikan fungsi pemantauan klinis yang dilakukan dokter dan perawat secara cermat, teratur dan berkesinambungan <sup>(6,7,8)</sup>.

Pada buku ajar ini penulis akan menguraikan secara singkat beberapa indikasi, kontraindikasi, teknik, dan komplikasi yang mungkin terjadi akibat pemasangan alat pemantau hemodinamik pasien yang biasa digunakan dokter anestesi di kamar bedah, dan unit terapi intensif baik monitor tidak langsung (non invasif) maupun monitor langsung (invasif) <sup>(8,9)</sup>.

## **Bab II**

### **Pemantauan Hemodinamik Pasien Non Invasif**

#### **1. Kesadaran** <sup>(10,11)</sup>

Dokter anestesi biasanya menilai kesadaran pasien sebelum dilakukan tindakan/ diberikan anestesi. Penilaian kesadaran pasien dilakukan bersamaan dengan evaluasi pre operatif seluruh keadaan pasien, yaitu pada saat kunjungan pra anestesi ke ruang perawatan satu atau beberapa hari sebelum pelaksanaan operasi. Pemeriksaan dimulai dengan: anamnesis/ wawancara langsung dengan pasien bila pasien sadar dan kooperatif (auto anamnesis) atau apabila pasien tidak kooperatif wawancara bisa dilakukan dengan keluarga yang bertanggung jawab (allo anamnesis). Setelah anamnesis selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan fisik dan mengevaluasi data-data pemeriksaan penunjang yang ada dan bila masih ada pemeriksaan penunjang lain yang dibutuhkan untuk keamanan keberlangsungan operasi, dokter anestesi dapat mengusulkan pemeriksaan penunjang tambahan lainnya ke dokter penanggung jawab. Kadang kala evaluasi pra anestesi dapat juga dilakukan ruang unit gawat darurat (UGD) atau di ruang

persiapan kamar bedah untuk pasien-pasien yang menjalani operasi segera/ *cito* beberapa saat sebelum tindakan anestesi/ pembiusan dilakukan.

Pusat pengaturan kesadaran manusia secara anatomi terletak pada serabut transversal retikularis batang otak (*medulla oblongata*) sampai ke talamus dan kemudian dilanjutkan ke *formatio activator reticularis* yang menghubungkan talamus dengan korteks serebri. Tingkat kesadaran seseorang dapat dinilai secara kualitatif (kompos mentis, apatis, somnolen, sopor/ stupor, dan koma) maupun secara kuantitatif dengan menggunakan *Glasgow Coma Scale* (GCS). Parameter GCS yang dinilai respon buka mata, bicara (verbal), dan motorik pasien, nilai totalnya adalah 15. Nilai respon buka mata normal 4, respon bicara (verbal) normal 5, dan respon motorik normal 6.

Tingkat kesadaran kualitatif:

a. Kompos Mentis

Keadaan seseorang sadar penuh, dapat menjawab dengan benar pertanyaan yang diajukan tentang dirinya dan lingkungannya, orientasi waktu dan tempat.

b. Apatis



Keadaan seseorang tidak peduli, acuh tak acuh, dan segan berhubungan dengan orang lain dan lingkungannya.

c. Somnolen

Keadaan seseorang dalam keadaan mengantuk dan cenderung tertidur, tetapi masih bisa dibangunkan dengan sedikit rangsangan dan mampu memberikan jawaban secara verbal namun cepat tertidur kembali.

d. Sopor/ Stupor

Kesadaran hilang, pasien hanya berbaring dengan mata tertutup. Pasien tidur dalam, tidak memberikan respon terhadap gerakan yang diberikan dan hanya dapat dibangunkan dengan rangsang nyeri yang kuat dan berulang.

e. Koma

Kesadaran hilang, pasien tidak memberikan respon/ reaksi apapun terhadap semua rangsangan yang diberikan (verbal, taktil, dan nyeri) dari luar.

## **2. Tekanan darah** <sup>(7,12,13)</sup>

Tekanan darah adalah tekanan pada dinding pembuluh darah arteri. Tekanan darah sistolik adalah

tekanan darah yang dihasilkan sewaktu jantung memompakan darah ke sirkulasi sistemik (saat katub aorta membuka), tekanan darah diastolik adalah tekanan darah yang dihasilkan saat katub aorta menutup. Sedangkan tekanan nadi adalah selisih tekanan darah sistolik dengan tekanan darah diastolik, dipengaruhi oleh curah jantung dan tekanan pembuluh darah perifer, keduanya diatur secara reflektoris oleh baroreseptor yang terletak di sinus karotikus dan arkus aorta. (Tekanan darah = curah jantung x tahanan pembuluh darah sistemik).

$$\text{MAP} = \text{CO} \times \text{SVR}$$

MAP = *Mean arterial pressure*

CO = *Cardiac output*

SVR = *Systemic vascular resistance*

CO = *Stroke volume (SV) x heart rate (HR)*

$$\text{SVR} = \frac{80 (\text{MAP} - \text{CVP})}{\text{CO}}$$

CO

CVP = *Central venous pressure*

Metode pemantauan tekanan darah tidak langsung:

a. Metode palpasi

Manset torniket tekanan darah dililitkan dibagian proksimal esktremitas yang akan diperiksa, biasanya pada

lengan atas, manset dipompa sampai denyut nadi tidak teraba, kemudian manset dikempeskan secara perlahan-lahan sambil meraba arteri brakhialis atau arteri radialis. Ukuran lebar manset sangat berperan menentukan hasil pengukuran, lebar manset yang dianjurkan adalah dua pertiga dari panjang lengan atas atau duapuluh persen lebih besar dari diameter lengan. Manset yang terlalu kecil akan menghasilkan tekanan darah yang lebih besar dari nilai sebenarnya dan sebaliknya ukuran manset yang terlalu lebar akan menghasilkan nilai tekanan darah yang lebih rendah dari nilai sebenarnya. Manometer standard yang digunakan secara internasional untuk satuan tekanan darah adalah manometer air raksa, ( $1 \text{ mmHg} = 1,36 \text{ CmH}_2\text{O}$ ).



Gambar 2.1 Pemeriksaan tekanan darah dengan metode auskultasi <sup>(14)</sup>

#### b. Metode auskultasi/ Korotkoff

Metode auskultasi hampir sama dengan metode palpasi. Palpasi tangan digantikan dengan stetoskop, diletakkan dibagian distal arteri yang kolaps. Pada pembuluh darah yang dibendung terjadi aliran turbulen yang menimbulkan suara (korotkoffi), denyut nadi pertama kali terdengar saat manset dikempeskan pelan-pelan menunjukkan tekanan darah sistolik dan pada saat denyut nadi tidak terdengar/ hilang menunjukkan tekanan darah diastolik. Suara korotkoff sering sulit didengar pada keadaan hipotensi berat atau vasokonstriksi perifer berat.

#### c. Metode *flush*

Lengan yang akan diperiksa terlebih dahulu ditinggikan beberapa saat agar darah turun, kemudian manset dililitkan dan dipompa sampai nadi tidak teraba. Secara perlahan-lahan tangan diturunkan dan manset dikempeskan sampai lengan kembali berwarna merah seperti semula. Saat lengan kembali berwarna merah menunjukkan tekanan darah sistolik sesuai dengan angka yang tertera pada manometer. Pengukuran tekanan darah dengan cara *flush* sering dilakukan pada bayi dan anak.

#### d. Metode osilometri (NIBP).

Alat pengukur tekanan darah tidak langsung (non invasif) bekerja secara otomatis. Mengukur getaran pulsasi arteri yang ditekan manset. Sangat akurat untuk mengukur tekanan darah arteri rata-rata. Tingkat ketelitian  $\pm 15$  mmHg (2 kPa) pada 95 % pasien normotensi.

e. Metode pletismograf

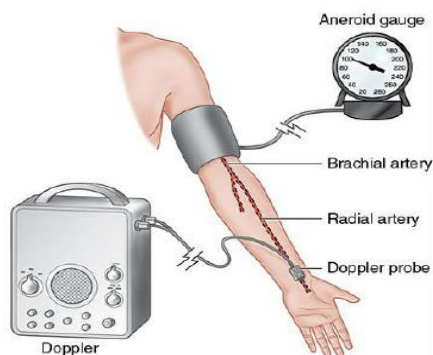
Pulsasi arteri sesaat akan meningkatkan volume darah ekstremitas. Foto pletismograf terdiri dari cahaya dioda dan sel-sel foto elektrik mampu mendeteksi volume darah jari-jari. Pletismograf tidak baik digunakan pada penderita dengan perfusi pembuluh darah perifer buruk atau penderita hipotermi.

f. Metode tonometri arteri.

Alat pengukur tekanan darah tidak langsung dari setiap denyutan arteri superfisial, kontak langsung transduser pada denyutan arteri dikulit menggambarkan tekanan intraluminal arteri. Rekaman denyut nadi secara terus menerus menghasilkan pintasan yang sangat mirip dengan gelombang tekanan arteri invasif.

g. Metode probe Doppler.

Prinsip kerja Doppler mengubah frekuensi gelombang suara dari sumber bergerak ke alat pendeteksi. Probe doppler mengirimkan signal ultarsonik dari sel-sel darah muda yang bergerak dalam pembuluh darah arteri. Perubahan frekuensi doppler kemudian dideteksi oleh probe. Perbedaan frekuensi gelombang suara yang dikirim dan yang diterima direkam oleh monitor seperti suara mendesis menggambarkan aliran darah. Cukup sensitif digunakan pada pasien-pasien gemuk, pediatrik dan syok.

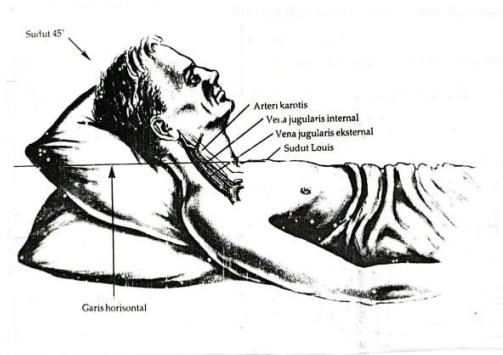


Gambar. 2.2 Metode Pemeriksaan Tekanan Darah Dengan Doppler <sup>(15)</sup>

### 3. Tekanan vena jugularis

Peninggian tekanan vena jugularis dapat diperkirakan dari distensi vena jugularis eksterna Vena-vena leher akan mengalami distensi bila kepala ditempatkan sejajar dengan lantai diatas tempat tidur dan vena-vena leher akan kolaps bila ditempatkan pada ketinggian 30-40 derajat. Atrium

kanan terletak + 5 cm dibawah sudut Louis, tempat pertemuan manubrium dengan korpus sternum. Derajat distensi vena leher diukur dengan membuat garis khayal dari miniskus distensi vena leher (tempat vena kolaps) sampai kesudut Louis. Tekanan vena sentralis dapat diperkirakan dengan menambahkan angka 5 cm dari distensi sudut Louis



Gambar 2.3 Inspeksi tekanan vena jugularis eksterna <sup>(16)</sup>

#### **4. Capillary refill time (CRT)**

*Capillary refill time (CRT)* adalah tes yang dilakukan dengan cepat pada daerah kuku untuk menilai jumlah aliran darah (perfusi) ke jaringan dan untuk menilai ada tidaknya dehidrasi. Pemeriksaan CRT dilakukan dengan cara tangan pasien yang akan diperiksa dipengang dan diangkat lebih tinggi dari jantung untuk mencegah refluks aliran darah vena, kemudian kuku jari tangan ditekan secara lembut sampai berwarna putih lalu dilepaskan. Waktu yang

dibutuhkan kuku untuk kembali ke warna semula (merah) setelah tekanan dilepaskan di hitung. Jika perfusi baik aliran darah ke daerah kuku akan baik, pada orang dewasa warna kuku akan kembali ke warna semula kurang dari dua detik, sedangkan pada bayi baru lahir (neonates) pengisian kapiler sampai tiga detik masih dianggap normal. *Capillary refill time* yang memanjang (lebih dari dua detik) dapat ditemukan pada keadaan dehidrasi, hipotermia, penyakit pembuluh darah perifer, syok. CRT yang memanjang dapat juga ditemukan pada pasien hipervolemia yang mengalami ekstrasvasasi cairan dan penurunan curah jantung dan jatuh pada keadaan syok <sup>(17)</sup>.

## **5. Steteskop prekordial dan esofagus.**

Jauh sebelum ketersediaan alat-alat monitoring modern, dokter-dokter anestesi sudah menggunakan steteskop precordial untuk memastikan ventilasi paru kiri dan kanan apakah simetris dan untuk mendengar irama detak jantung apakah teratur atau tidak. Meskipun metode steteskop precordial dan esophagus sudah banyak digantikan alat monitoring modern, perabaan nadi perifer dengan jari tangan dan auskultasi steteskop precordial tetap menjadi alat monitor terdepan terutama pada saat teknologi tidak dapat difungsikan. Di kamar operasi auskultasi dinding dada



dengan stetoskop tetap diperlukan untuk memastikan ventilasi paru bilateral sama, meskipun end tidal CO<sub>2</sub> dapat digunakan untuk memastikan intubasi trakea <sup>(14)</sup>.

Stetoskop precordial (*chestpiece Wenger*) dapat ditempatkan di atas dinding dada atau takik suprasternal. Stetoskop esofagus adalah kateter plasti lunak berdiameter 8-24 FR, dimana bagian ujung distalnya ditutup dengan balon. Stetoskop esofagus digunakan pada pasien yang di intubasi dan pemakaiannya harus dihindari pada pasien dengan varises atau striktur esofagus.

## **6. Suhu tubuh**

Suhu tubuh adalah perbedaan jumlah panas yang diproduksi tubuh dengan jumlah panas yang hilang ke lingkungan luar. Manusia secara fisiologis dikelompokkan ke dalam makhluk berdarah panas atau homotal. Makhluk homotal mempunyai temperatur tubuh yang relatif normal walaupun suhu lingkungannya berubah <sup>(18)</sup>.

Suhu tubuh ada dua jenis:

- a. Suhu inti adalah suhu tubuh yang berasal dari jaringan tubuh bagian dalam seperti rongga cranium, rongga dada, rongga perut, dan rongga pelvis.

- b. Suhu permukaan yaitu suhu yang ditemukan pada kulit, dan jaringan subkutis. Suhu permukaan ini dipengaruhi oleh temperatur lingkungan.

Reseptor temperatur penting untuk mengatur suhu tubuh terletak pada area preoptika hipotalamus. Energi panas yang hilang dari tubuh pasien saat menjalani operasi di kamar bedah terutama terjadi melalui penguapan (evaporisasi). Temperatur tubuh dapat diukur dengan menggunakan thermometer, thermalgun, thermal probe. Lokasi yang umum digunakan untuk mengukur suhu tubuh adalah mulut, ketiak, membrana timpani, rektal, kulit dahi atau kulit punggung tangan, esofagus, arteri pulmoner atau bahkan kandung kemih. Suhu tubuh normal seseorang dipengaruhi oleh usia: bayi baru lahir (neonatus) berkisar  $36,1 - 37,7^{\circ}\text{C}$ ; anak balita berkisar  $36,5 - 37,7^{\circ}\text{C}$ ; dewasa berkisar  $36,5 - 37,5^{\circ}\text{C}$ ; dan usia lanjut cenderung lebih rendah berkisar  $36 - 36,5^{\circ}\text{C}$ .

Suhu pasien yang di anestesi harus dipantau terus sepanjang operasi berlangsung, kecuali pada operasi-operasi singkat. Selama operasi berlangsung (intraoperatif) suhu tubuh diukur dengan alat termistor atau termokopel. Suhu pasien rendah (hipotermia) dihubungkan dengan tertundanya

metabolisme obat, meningkatnya kadar glukosa darah, vasokonstriksi, gangguan koagulasi, menggigil paska operasi (*shivering*) disertai takikardia dan peningkatan tekanan darah, serta meningkatnya infeksi di tempat luka operasi.

## **7. Produksi urin**

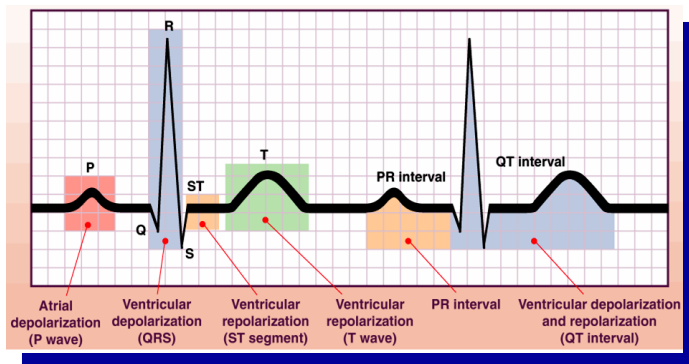
Walaupun produksi urin sebagian besar menggambarkan kecukupan perfusi ginjal, namun produksi urin sering juga digunakan sebagai petunjuk adekuatnya curah jantung. Curah jantung dipengaruhi oleh tekanan darah, volume darah, tingkat hidrasi dan obat-obatan yang sedang digunakan. Bila perfusi ginjal cukup, produksi urin akan lebih dari 0,5 ml/ kg BB/ jam. Untuk menjaga perfusi ginjal tetap adekuat, tekanan arteri rata-rata (*mean arterial pressure* = MAP) harus dipertahankan sekitar 70 - 90 mmHg. Produksi urin di monitor dengan memasukkan kateter Foley ke dalam kandung kemih <sup>(19)</sup>. Kateter Foley rutin digunakan pada prosedur operasi-operasi yang rumit dan lama seperti pada kraniotomi, laparotomi luas, operasi jantung terbuka, dan lain-lain. Keuntungan lain yang didapat dari penggunaan kateter Foley adalah alat pendeteksi suhu tubuh termistor dapat dimasukkan melalui ujung kateter sehingga suhu kandung kemih dapat di monitor dan hal ini menggambarkan suhu inti tubuh <sup>(18)</sup>. Pasien-pasien sakit

kritis yang mendapat terapi inotropik dengan atau tanpa diuretik, produksi urin menjadi tidak bermanfaat digunakan untuk menilai hemodinamik.

## **8. Elektrokardiogram** <sup>(23,25)</sup>

Penemu elektrokardiogram adalah dokter Willem Einthoven, seorang ahli fisiologi berkebangsaan Belanda yang lahir di Semarang, Indonesia. Elektrokardiogram adalah alat perekam aktifitas listrik jantung yang dihasilkan oleh sel-sel miokard, dapat digunakan untuk menegakkan kelainan jantung. Intra operatif rutin digunakan untuk mendeteksi disritmia, iskemia miokard, gangguan konduksi, malfungsi pacemaker, dan gangguan elektrolit.

Gambaran klinis penderita merupakan pegangan terpenting untuk menegakkan diagnosis suatu penyakit jantung, karena penderita penyakit jantung mungkin memberikan elektrokardiogram (EKG) normal atau sebaliknya individu normal mungkin memberikan gambaran elektrokardiogram (EKG) abnormal <sup>(2,15,24)</sup>.



Gambar 2.4 Kurva elektrokardiogram (EKG) <sup>(25)</sup>

Kurva EKG menggambarkan proses listrik yang terjadi pada atrium dan ventrikel. EKG normal terdiri dari gelombang P, Q, R, S dan T serta kadang terlihat gelombang U. Selain itu ada juga beberapa interval dan segmen EKG. Gelombang P menggambarkan depolarisasi atrium, lebar normal 0,08 – 0,10 detik, tinggi tidak lebih dari 2,5 mm.

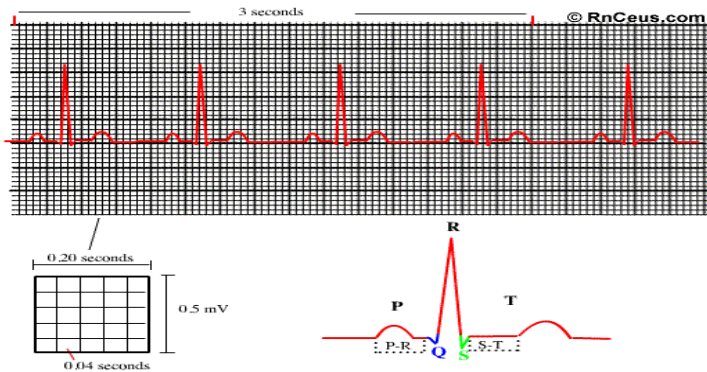
Kompleks QRS menggambarkan sistol ventrikel (depolarisasi ventrikel), lebar normal 0,06 - 0,10 detik dan gelombang T menggambarkan repolarisasi ventrikel.

Elektrokardiogram memberikan nilai diagnostik pada keadaan aritmia jantung, hipertropi atrium dan ventrikel, iskemia dan infark otot jantung, pemakaian obat-obatan terutama digitalis dan antiaritmia, gangguan keseimbangan

elektrolit terutama kalium, perikarditis serta dapat juga digunakan untuk menilai fungsi pacu jantung.

Rekaman EKG lengkap umumnya dibuat 12 hantaran. Hantaran EKG tertentu dapat digunakan untuk menilai gangguan otot jantung yang terjadi. Hantaran II paralel dengan atrium, menghasilkan voltage gelombang P yang lebih besar, dapat digunakan untuk menegakkan diagnosis disritmia dan iskemia dinding inferior otot jantung. Hantaran V dapat digunakan untuk mendeteksi iskemia dinding anterolateral ventrikel kiri. Idealnya, karena setiap hantaran memberikan informasi unik maka hantaran II dan hantaran V5 harus dipantau secara bersamaan.

Kriteria umum yang digunakan untuk menegakkan diagnosis iskemia miokard adalah bila depresi segmen ST > 1 mm setelah akhir kompleks QRS, Q patologis (kedalaman gelombang Q >1/3 tinggi R) menggambarkan infark miokard lama, elevasi segmen ST >2 mVolt menggambarkan infark miokard.



Gambar 2.5 Gambaran elektrokardiogram (EKG) normal <sup>(25)</sup>.

Kriteria irama sinus (SR) atau EKG normal adalah sebagai berikut:

- Irama teratur.
- Frekwensi jantung (HR) antara 60-100 x/menit.
- Gelombang P normal, setiap gelombang P diikuti gelombang QRS dan T.
- Interval PR normal (0,12 – 0,20 detik).
- Gel QRS normal (0,06 – 0,12 detik).
- Semua gelombang sama.
- Irama EKG yg tidak mempunyai kriteria tersebut disebut disritmia atau aritmia.

## 9. Oksimetri Nadi <sup>(2,7,17)</sup>

Nadi adalah sensasi denyutan yang dapat diraba di arteri perifer yang terjadi karena gesekan atau aliran darah

ketika jantung berkontraksi. Ketika ventrikel kiri berkontraksi darah di pompakan ke aorta dan diteruskan ke arteri seluruh tubuh yang menimbulkan suatu gelombang tekanan yang bergerak cepat pada arteri dan dapat dirasakan. Frekwensi denyut nadi dapat dihitung dalam satu menit dan sama dengan frekwensi jantung. Pemeriksaan denyut nadi secara palpasi dapat dilakukan antara lain di: arteri radialis, arteri dorsalis pedis, arteri tibialis posterior, arteri poplitea, arteri femoralis. Frekwensi denyut nadi cenderung berkurang dengan bertambahnya usia seseorang. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi denyut nadi: usia, jenis kelamin, bentuk tubuh, aktivitas, suhu tubuh, keadaan emosi, volume darah, dan obat-obatan.

Untuk memonitor denyut nadi secara terus menerus atau secara intermitten dapat dilakukan dengan menggunakan oksimetri nadi. Oksimetri nadi adalah alat pemantau nadi dan saturasi oksigen darah arteri secara non invasif. Oksimetri nadi wajib digunakan pada setiap operasi pasien yang menggunakan anestesi, tidak ada kontraindikasi. Prinsip kerja oksimetri nadi adalah menggabungkan oksimetri dan pletismograf untuk mengukur saturasi oksigen darah arteri, yang menggambarkan saturasi oksigen dengan molekul hemoglobin. Oksimetri terdiri dari dioda dan



fotodioda, dioda merupakan sumber cahaya yang memancarkan cahaya merah dan infrared, sedangkan fotodioda adalah detektor cahaya yang dapat ditempatkan dijari-jari tangan, jari-jari kaki, daun telinga dan kadang-kadang di batang hidung. Daun telinga lebih cepat mendeteksi saturasi oksigen karena waktu sirkulasi telinga ke paru-paru lebih pendek.

Daya serap hemoglobin jenuh dan hemoglobin tereduksi terhadap cahaya merah dan infrared berbeda (Hukum Lambert - Beer). Oksihemoglobin ( $\text{HbO}_2$ ) lebih banyak menyerap sinar infrared (990 nm) sedangkan deoksihemoglobin lebih banyak menyerap cahaya merah (660 nm) sehingga dengan mata telanjang mudah tampak berwarna biru atau sianosis.



Gambar 2.6 Oksimetri nadi <sup>(17)</sup>

Oksimetri nadi sangat bermanfaat digunakan di

a. Ruang unit terapi intensif.

Untuk deteksi dini hipoksemia pada pasien-pasien sakit kritis seperti PPOK, gagal jantung, ARDS, pneumonia, aspirasi, cedera kepala, stroke dan gangguan lain yang memerlukan ventilasi mekanik.

b. Kamar bedah.

Untuk pasien-pasien yang menjalani pembedahan dengan teknik anestesia khusus seperti torakotomi, bedah jantung terbuka, hernia diafragmatika, neonatus dan lain-lain.

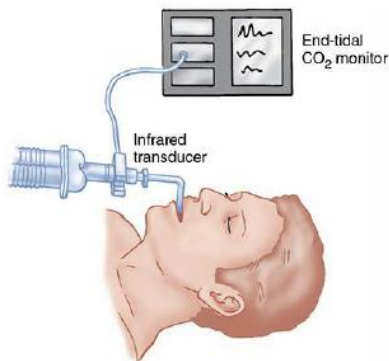
c. Ruang pemulihan.

Untuk deteksi dini hipoventilasi paska anestesi/bedah.

Beberapa keadaan yang dapat mempengaruhi tingkat kepercayaan hasil pengukuran saturasi oksigen oksimetri nadi:

- a. Saturasi oksigen meningkat palsu pada hemoglobin abnormal seperti karboksilb  $> 3.4$  gr%, metHb  $\geq 1.5$  gr%, sulfHb  $\geq 0,5$  gr%
- b. Saturasi oksigen menurun palsu bila kadar bilirubin tinggi.
- c. Perfusi jaringan yang buruk akan mengurangi aliran darah dan absorpsi cahaya seperti pada pasien-pasien sakit kritis dengan curah jantung rendah, hipotermia dan resistensi vaskuler sistemik tinggi.
- d. Signal oksimetri nadi hilang karena artefak, cahaya ruangan berlebihan, gerak berlebih, obat vasokonstriktor yang digunakan pada anestesi lokal dan sinar yang dipancarkan dan dioda ke fotodioda bocor.

## 10. Kapnograf <sup>(7,12,13)</sup>



Gambar 2.7 Kapnograf <sup>(2)</sup>

Kapnograf adalah alat yang sangat bernilai digunakan untuk memantau fungsi pernapasan dan jantung selama pasien teranestesi terutama pada anestesi umum, tidak ada kontraindikasi pemakaian. Mekanisme kerja kapnograf sama dengan oksimetri nadi diatur oleh hukum Lambert – Beer, sinar infra merah akan diabsorpsi oleh CO<sub>2</sub>. Adaptor kapnograf ditempatkan pada sirkuit pernapasan yang terhubung dengan monitor. Kapnograf adalah alat terpercaya untuk mendeteksi keberhasilan intubasi trakea, tetapi tidak bisa digunakan untuk memprediksi kedalam intubasi bronkus. Peningkatan ruang rugi ventilasi alveolar (*dead space physiology*) seperti pada tromboemboli paru, emboli udara vena, dan berkurangnya perfusi paru akan menurunkan kadar ET<sub>CO</sub><sub>2</sub> dibanding dengan kadar CO<sub>2</sub> darah arteri (PaCO<sub>2</sub>). Dalam keadaan normal, kadar CO<sub>2</sub> yang dideteksi kapnograf (ET<sub>CO</sub><sub>2</sub>) lebih rendah  $\pm$  4 mmHg bila dibandingkan dengan kadar CO<sub>2</sub> darah arteri (PaCO<sub>2</sub>) yang diperiksa dengan analisis gas darah. Penurunan kadar ET<sub>CO</sub><sub>2</sub> secara tiba-tiba pada saat operasi bedah otak (*craniotomy*) merupakan petunjuk kuat telah terjadi emboli udara, komplikasi utama pada operasi otak posisi duduk.

## **11. Ekokardiografi** <sup>(7,20,21)</sup>

Alat noninvasif untuk memeriksa pembuluh-pembuluh darah besar dan jantung dengan menggunakan gelombang ultrasound. Gelombang ultrasound dihasilkan oleh elemen piezoelektrik yang bekerja sebagai transmitter dan receiver. Bila gelombang ultrasound mengenai permukaan jaringan yang diperiksa akan dikirimkan gambaran yang sesuai dengan daya serap masing-masing jaringan. Ekokardiografi sudah menjadi alat yang sangat berharga untuk menegakkan diagnosis penyakit jantung. Pemeriksaan ekokardiografi transtorakal (TTE) dan ekokardiografi transesofagus (TEE) sangat bermanfaat digunakan untuk menilai fungsi jantung perioperatif oleh dokter anestesia, baik sebelum operasi dan paska operasi.

Ekokardiografi dopler adalah generasi ekokardiografi terbaru, prinsip kerjanya adalah bila sinar gelombang ultrasound dikenakan ke objek bergerak seperti sel darah merah (eritrosit) akan menghasilkan frekuensi suara. Untuk mengoperasionalkan ekokardiografi memerlukan ketrampilan khusus.

Beberapa manfaat ekokardiografi:

- a. Untuk menegakkan penyebab ketidakstabilan hemodinamik, termasuk iskemia miokard, gagal

jantung sistolik dan diastolik, kelainan katup, hypovolemia, dan tamponade perikardium.

- b. Untuk memprediksi parameter hemodinamik seperti volume sekuncup, curah jantung, dan tekanan intrakavitas.
- c. Untuk diagnosis penyakit struktur jantung seperti kelainan katup jantung, shunting, dan kelainan aorta.
- d. Memandu tindakan bedah seperti pada waktu repair katup mitral.

## **12. Bentuk gelombang nadi** <sup>(7,12)</sup>

Perangkat pendeteksi bentuk nadi (*pulse contour devices*) adalah alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi tekanan arteri untuk memperkirakan curah jantung dan parameter dinamis lainnya, seperti tekanan nadi dan variasi volume sekuncup pada pasien yang menggunakan ventilasi mekanis.

Perangkat ini akan mengukur luas bagian algoritme tekanan sistolik arteri dari akhir tekanan diastolik ejeksi ventrikel. Perangkat pendeteksi bentuk nadi ini bermanfaat digunakan untuk menilai respon terapi cairan pada pasien hipotensi.

### **13. Dopler esofagus** <sup>(7,12,13)</sup>

Pemeriksaan dopler esofagus merupakan bagian integral dari pemeriksaan ekokardiografi perioperatif. Prinsip kerja dopler esofagus adalah mendeteksi kecepatan aliran darah aorta torakal yang menurun. Pergerakan relatif aliran darah aorta akan menyilang *probe* dopler esofagus. Ketika aliran sel darah merah bergerak mendekati transduser frekuensi pantulan yang dihasilkan transmisi *probe* tinggi begitu pula sebaliknya ketika aliran darah menjauhi transduser frekuensi pantulan yang dihasilkan transmisi *probe* rendah.

### **14. Bioimpedans elektrik dinding dada**

Perubahan volume dinding dada menyebabkan perubahan resistensi dinding dada (bioimpedans) terhadap amplitudo rendah dan arus frekuensi tinggi. Bila perubahan bioimpedans pada dinding dada diukur setelah depolarisasi ventrikel maka volume sekuncup dapat ditentukan secara kontiniu. Asumsi dan dan korelasi matematika kemudian

dibuat untuk menghitung curah jantung dari perubahan bioimpedans.

Di RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung alat ini sempat dipergunakan beberapa dekade tahun yang lalu dengan nama HOTMAN (*Haemodynamic and Oxygen Transport Monitoring and Management System*) untuk menilai parameter hemodinamik pasien-pasien sakit kritis yang sedang dirawat di ruang terapi intensif dan yang sedang menjalani pembedahan dikamar operasi <sup>(23,24,25)</sup>.

### **Bab III**

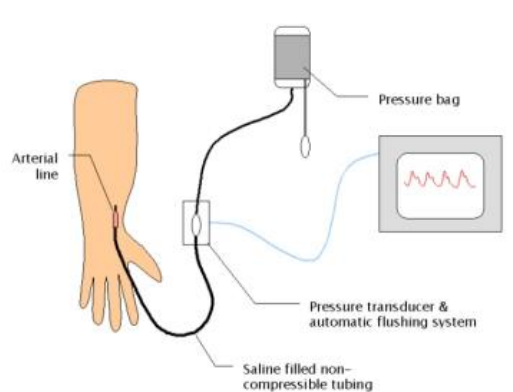
#### **Pemantauan Hemodinamik Pasien Invasif**

##### **1. Tekanan darah** <sup>(7,12,13)</sup>

Tekanan arteri langsung dapat diukur dengan memasukkan kanul kedalam arteri Lokasi penusukan dapat dilakukan di arteri radialis, arteri ulnaris, arteri brakialis,



arteri femoralis, arteri dorsalis pedis, arteri tibialis posterior dan arteri aksilaris, Kanula melalui transdusor dihubungkan ke manometer atau unit pencatat gelombang arteri. Dengan teknik kanulasi, tekanan arteri dapat diukur secara langsung dan terus menerus. Bentuk gelombang arteri menggambarkan pembukaan dini katub aorta diikuti peningkatan tekanan intraarteri segera sampai puncak tekanan sistolik tercapai ejeksi ventrikel maksimal.



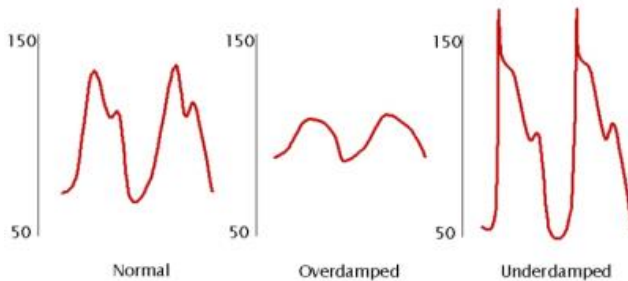
Gambar 3.1 Monitoring tekanan darah invasif <sup>(12)</sup>.

Bentuk gelombang tekanan arteri dapat digunakan untuk menghitung:

- a. Volume sekuncup dan curah jantung secara kasar (kurva tekanan arteri sistolik).
- b. Kecukupan preload.
- c. Sebagai petunjuk tidak langsung kontraktilitas ventrikel (interval waktu sistolik).

Pada keadaan dimana tekanan darah sistolik tinggi, pengukuran tekanan intraarteri langsung, dapat memberikan hasil tekanan sistolik berlebihan.

Hal ini terjadi akibat sifat fisik cairan yang digunakan dan tekanan transduser, dapat diatasi dengan meningkatkan sistem damping, gunakan kanula-transduser ukuran kecil.



Gambar 3.2 Bentuk gelombang arteri <sup>(26,27)</sup>.

#### Indikasi kanulasi intraarteri

a. Untuk memantau tekanan darah secara terus menerus, misalnya:

- Penderita krisis hipertensi yang mendapat titrasi obat-obat vasoaktif/ kardiotonik.
- Pembedahan dengan teknik hipotensi
- Syok vasokonstriksi/ vasodilatasi.

- Evaluasi disritmia selama disritmia.
  - Sepsis dengan sequestrasi cairan berlebihan.
  - Evaluasi terapi cairan
- b. Pemeriksaan analisa gas darah yang dilakukan berulang-ulang.

Komplikasi kanulasi intraarteri:

- Hematoma, bisa terjadi perdarahan sampai 500 ml dengan kanula ukuran no. 18 FG.
- Vasospasme.
- Trombosis arteri.
- Emboli udara/ trombus.
- Nekrosis kulit diatas kateter.
- Kerusakan saraf.
- Iskemia pada bagian distal kanula.
- Penyuntikan obat-obat intraarteri.

Kejadian komplikasi akan meningkat bila: kanulasi dipertahankan untuk jangka lama, penderita hiperlipidemia, penusukan berulang-ulang, jenis kelamin terutama wanita, sirkulasi ekstrakorporeal dan penggunaan obat-obat vasopressor.

Sekalipun demikian morbiditas kanulasi intra arteri jauh lebih sedikit bila dibandingkan dengan penusukan arteri

yang dilakukan berulang-ulang untuk pemeriksaan analisa gas darah.

Pencegahan komplikasi kanulasi intra arteri:

- a. A/antiseptik + infiltrasi anestesi lokal ditempat insersi.
- b. Gunakan kanula ukuran kecil no 20 G atau 22 G. Perbandingan ukuran diameter kanul dengan arteri harus kecil.
- c. Infus larutan salin diheparinisasi (0,5-1 unit heparin untuk setiap 1 ml larutan salin).
- d. Ujung buntu stopcocks ditutup.

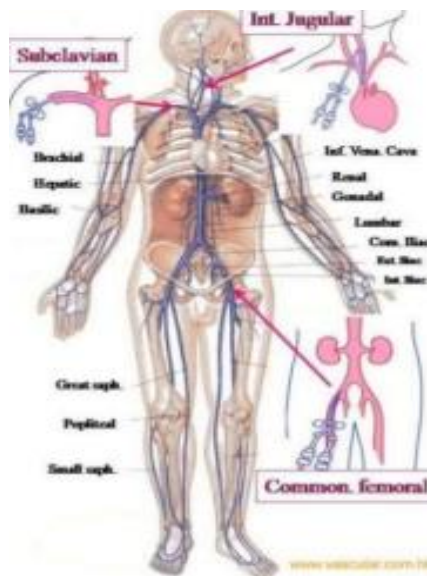
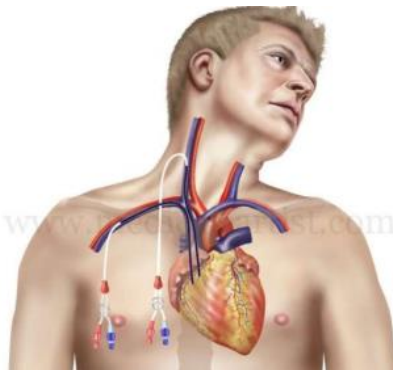
## **2. Tekanan vena sentralis (CVP)** <sup>(7,13,32)</sup>

Tekanan vena sentralis dapat dipantau dengan menginsersikan kateter ke dalam vena besar. Penusukan dapat dilakukan melalui vena jugularis interna, vena subklavia, vena brakhialis dan vena femoralis sampai posisi ujung kateter diatas pertemuan vena cava superior dengan atrium kanan. Tekanan vena sentral juga dapat diukur dengan menggunakan lumen proksimalis kateter arteri pulmonalis. Karena lokasi ujung kateter terpapar dengan tekanan intratorakal, pola napas akan mempengaruhi hasil pengukuran, inspirasi dapat meningkatkan atau menurunkan tekanan vena sentralis, apakah penderita bernapas spontan

atau bernapas dengan ventilasi mekanik. Untuk memastikan posisi ujung kateter tepat atau tidak dapat dilakukan dengan cara mengamati perubahan tekanan manometer (undulasi) selama inspirasi, aspirasi darah mudah dilakukan dan foto torak) Penilaian tekanan vena sentralis dapat dilakukan dengan manometer air (cm H<sub>2</sub>O) atau dengan transduser elektrik (mmHg).

Pengukuran tekanan vena sentralis lebih baik dilakukan pada saat akhir ekspirasi untuk mengurangi efek tekanan intratorakal. Bila pasien bernapas spontan, tekanan vena sentralis akan bergerak turun sewaktu inspirasi dan bila pasien bernapas dengan ventilasi mekanik tekanan vena sentralis akan bergerak naik

Tekanan vena sentralis meningkat pada posisi Trendelenburg, overload, ventilasi mekanik, batuk, muntah, gagal jantung, manuver valsava serta menurun pada posisi duduk, berdiri tegak, hipovolemia, takikardia.



Gambar 3.3 Lokasi kanulasi vena sentralis <sup>(13)</sup>

Indikasi pemasangan kateter vena sentralis:

- a. Menilai tekanan vena sentralis dalam mengelola cairan.
- b. Jalur masuk cairan hipertonik atau cairan yang bersifat
- c. mengiritasi yang memerlukan pengenceran segera dalam sistim sirkulasi.
- d. Jalur nutrisi parenteral.

- e. Aspirasi emboli.
- f. Sebagai jalur vena pada keadaan vena perifer kolaps.
- g. Jalur memasukkan *lead pacing* transkutan.
- h. Jalur pengambilan darah untuk pemeriksaan laboratorium.

Kontraindikasi relatif insersi kateterisasi vena sentral sehubungan dengan lokasi: adanya tumor, gumpalan darah, vegetasi katub tricuspid, gangguan faktor pembekuan darah. Kontrainsikasi lain sehubungan dengan letak, misalnya insersi melalui vena subklavia lebih mudah terjadi pneumotoraks, bila arteri karotis tertusuk dengan tidak sengaja sulit untuk melakukan kompresi langsung. Secara anatomi kateterisasi vena jugularis interna sebelah kiri memiliki resiko efusi pleura dan silotoraks yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan vena jugularis interna sebelah kanan.

Dengan menggunakan kateter khusus, kanula vena sentral dapat digunakan untuk memantau saturasi oksigen vena campur ( $ScvO_2$ ) secara kontiniu. Penurunan kadar  $ScvO_2$  (normal  $\pm 65\%$ ) harus di waspadai karena menggambarkan kiriman oksigen ke jaringan tidak memadai, hal ini bisa terjadi karena: curah jantung kurang, kadar

hemoglobin rendah, saturasi oksigen darah arteri rendah, dan peningkatan konsumsi oksigen. Peningkatan kadar ScvO<sub>2</sub> (> 80 %) menunjukkan kemungkinan telah terjadi *shunting* arteri – vena atau gangguan penggunaan oksigen seluler, misalnya pada keracunan sianida.

Keterbatasan vena sentralis:

Fungsi jantung normal memerlukan pengisian darah yang memadai dari vena. Tekanan vena sentralis dengan tekanan atrium kanan hampir sama sehingga dapat digunakan sebagai petunjuk pengisian ventrikel kanan. Namun, penentu utama preload ventrikel kanan adalah volume (volume diastolik akhir ventrikel kanan =VDAVKa) bukan tekanan sehingga nilai tekanan vena sentralis yang terbaca menjadi terbatas kegunaannya bila compliance ventrikel kanan tidak diketahui. *Compliance* ventrikel kanan berbeda dari satu pasien dengan pasien lain dan dari waktu ke waktu pada pasien yang sama. Oleh karena itu perubahan dinamis tekanan vena sentralis lebih berarti dari pada nilai absolut yang didapat.

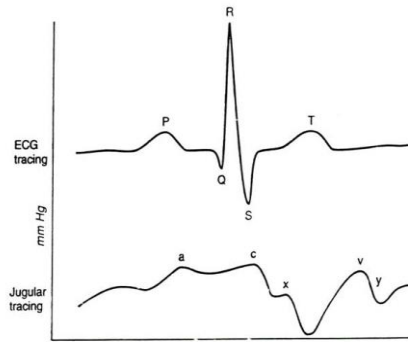
Bila peningkatan tekanan vena sentralis < 3 mmHg dalam merespon *fluid challenge test* (berikan cairan koloid 50-200 ml dengan tetesan cepat, tunggu 10 menit kemudian



nilai kembali tekanan vena sentralis) berarti penderita masih memerlukan sejumlah tertentu volume cairan.

Bila peningkatan tekanan vena sentralis  $> 7$  mmHg loading cairan mungkin sudah maksimal tetapi bila kemudian nilai tekanan vena sentralis turun menjadi 3 mmHg dalam waktu 10 menit kemungkinan terjadi edema paru sedang pemberian cairan harus dibatasi.

Pada jantung sehat kecukupan pengisian ventrikel kiri dapat dipersamakan dari kecukupan pengisian ventrikel kanan sehingga kecukupan pengisian ventrikel kiri dapat juga dinilai dari tekanan vena sentralis tetapi tidak pada pasien-pasien penyakit paru yang disertai dengan hipertensi pulmonal, gangguan ventrikel oleh karena sepsis atau infarkmiokard.



Gambar 3.4 Bentuk gelombang tekanan vena sentralis  
dihubungkan dengan EKG <sup>(7.27)</sup>

Keterangan:

- a. gelombang a = kontraksi atrium diikuti dengan penurunan x, pada EKG = gelombang P.
- b. gelombang c = penutupan katub trikuspid pada EKG sambungan RST dari kompleks QRST.
- c. gelombang v = pengisian atrium tonjolan katub trikuspid kedalam atrium selama ventrikel berkontraksi, diikuti dengan penurunan y, pada EKG saat gelombangt turun.

Analisis kelainan bentuk gelombang tekanan vena sentralis:

a. Gelombang a besar:

- Disosiasi atrioventrikel: atrium dan ventrikel sama-sama berkontraksi.
- Takikardia/ ektopik ventrikel: atrium berkontraksi saat katub AV menutup.
- Pacu jantung ventrikel
- Stenosis katub pulmonal/ trikuspid.

b. Gelombang besar, x turun/ hilang, y turun:

Regurgitasi katub trikuspid → jumlah darah di atrium kanan berlebihan.

c. x besar, y turun

- Infark ventrikel kanan: tekanan atrium/ ventrikel kanan, tekanan arteri pulmonal meningkat saat inspirasi
- Perikarditis restriktif: tekanan atrium kanan, tekanan diastolik ventrikel kanan, tekanan diastolik dan oklusi arteri pulmonalis meningkat serta tekanan arteri pulmonalis meningkat saat inspirasi.

d. y turun atau hilang

Tamponade jantung: tekanan atrium kanan, tekanan diastolik ventrikel kanan, tekanan diastolik dan tekanan oklusi arteri pulmonalis meningkat, tekanan arteri pulmonalis menurun saat inspirasi.

Komplikasi kanulasi vena sentralis:

a. Saat penusukan.

Nyeri, infeksi, emboli udara/ trombus, perdarahan, pneumotoraks/ hematotoraks, arteri tertusuk, saraf tertusuk (sindroma Horner), aritmia karena ujung kateter berada di atrium/ventrikel kanan

b. Penggunaan lama.

Sepsis, sambungan kateter longgar tidak tepat menimbulkan perdarahan dan emboli udara, kateter berpindah tempat menyebabkan efusi pleura atau efusi perikardial.

### **3. Kateterisasi arteri pulmonalis** <sup>(7,12,13)</sup>

Kateter arteri pulmonalis pertamakali dipergunakan oleh Swan dan Ganz ke dalam praktek di kamar bedah untuk memonitor hemodinamik pasien yang tidak stabil dan di unit perawatan intensif karena keterbatasan jalur vena sentralis menilai perubahan dini gagal ventrikel kiri.

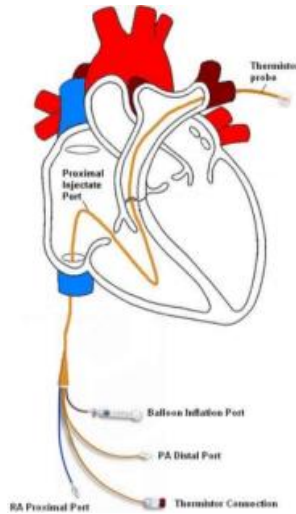
Pada pasien-pasien tidak stabil, dengan diketahuinya nilai curah jantung dan tekanan oklusi arteri Pulmonalis hal ini dapat digunakan memandu terapi hemodinamik untuk memastikan perfusi organ. Ada beberapa metode yang kurang invasif dan dapat digunakan untuk memantau

hemodinamik seperti pengukuran curah jantung termodilusi transpulmoner, analisis kontur denyut nadi, dan pengukuran bioimpedansi dinding dada. Saturasi oksigen darah atrium kanan dapat juga digunakan untuk menilai kecukupan pengiriman oksigen jaringan dan ekstraksi oksigen jaringan, dibandingkan dengan saturasi oksigen vena campur (normal 75 %).

Daily dan Schroeder (1989) menyatakan bahwa dari pemantauan arteri pulmonalis diperoleh informasi yang sangat penting mengenai jantung kiri yang sulit didapat dengan cara lain. Penggunaan kateter arteri Pulmonalis disarankan digunakan untuk menilai indeks jantung, preload, status volume intravaskuler, dan kadar oksigen vena campur pasien dengan hemodinamik tidak stabil.

Pada kondisi-kondisi tidak ada penyakit katub mitral, kateter arteri pulmonalis dapat digunakan menilai tekanan jantung kiri secara langsung dan relatif lebih aman dibanding jalur atrium melalui torakotomi.

Pada gagal jantung akut, ventrikel kiri lebih mudah gagal karena beban jantung lebih besar, otot lebih tebal dan perubahan perfusi koroner.

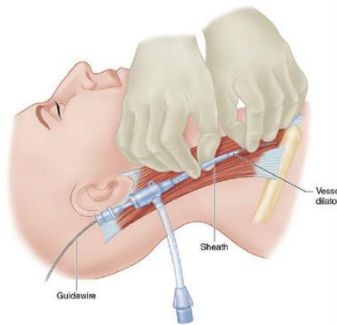


Gambar 3.5 Kateter arteri pulmonalis <sup>(12)</sup>.

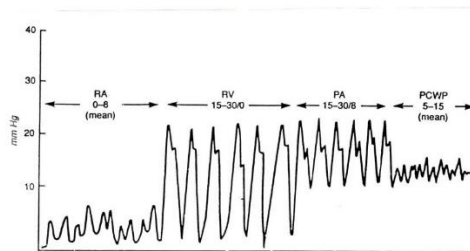
Kateter arteri pulmonalis adalah sebuah kateter multi lumen aliran langsung yang dimasukkan melalui vena sentralis ke jantung kanan menuju aneri pulmonalis. Lumen proksimal untuk mengukur tekanan atrium kanan, lumen distal untuk mengukur tekanan arleri pulmonalis, lumen ke tiga untuk mengembangkan balon dan lumen ke empat untuk mengukur curah jantung dengan cara termodilusi.

Kadang kala ada kateter arteri pulmonalis yang mempunyai lumen ke lima, lumen tambahan yang digunakan untuk memasukkan alat pacu jantung (*pace maker*) untuk memacu ventrikel pada blok AV (*atrio ventricular*).

Bila balon kateter arteri pulmonalis dikembangkan aliran darah akan terbelokkan dan bila tidak ada penyakit katub mitral tekanan oklusi ini menggambarkan tekanan atrium kiri dan ventrikel kiri. Curah jantung dapat diukur dengan teknik termodilusi dari ventrikel kanan. Ventrikel kanan menentukan preload jantung kiri dan merupakan gambaran curah jantung yang akurat dari ventrikel kiri.



Gambar 3. 6 Teknik pemasangan kateter arteri pulmonalis dengan cara Seldinger <sup>(12)</sup>.



Gambar 3.7 Bentuk gelombang dan nilai normal kateter arteri pulmonalis <sup>(29)</sup>

Indikasi penggunaan kateter arteri pulmonalis <sup>(34,35)</sup>

- a. Menentukan tekanan arteri pulmonalis dan tekanan oklusi/ desak arteri pulmonalis.
- b. Jalur pemberian cairan dan obat melalui vena sentralis.
- c. Mengukur curah jantung dengan teknik termodilusi.
- d. Mengukur nilai hemodinamik curah jantung dan tekanan arteri pulmonalis.
- e. Mengukur saturasi O<sub>2</sub> vena campur.
- f. Mengevaluasi respon penderita terhadap terapi yang dibcrikan.
- g. Menegakkan diagnosis defek septum ventrikel.
- h. Keadaan darurat dapat digunakan untuk mengatur frekuensi denyut jantung melalui lumen *paceport* kateter arteri pulmonalis.



Beberapa parameter hemodinamik dari hasil pengukuran kateter arteri pulmonalis (35,36).

No.	Variable	Formula	Normal	Unit
1.	Cardiac Index (CI)	$\frac{\text{Cardiac Output (L/min)}}{\text{Body Surface Area (m}^2\text{)}}$	2.2 - 4.2	L/min/m <sup>2</sup>
2.	Total Peripheral Resistance (TPR)	$\frac{(\text{MAP} - \text{CVP}) \times 80}{\text{Cardiac output (L/min)}}$	1200 - 1500	Dynes/s/cm <sup>5</sup>
3.	Pulmonary Vascular Resistance (PVR)	$\frac{(\text{PA} - \text{PAOP}) \times 80}{\text{Cardiac Output (L/min)}}$	100 - 300	Dynes/s/cm <sup>5</sup>
4.	Stroke Volume (SV)	$\frac{\text{Cardiac Output (L/min)} \times 1000}{\text{Heart Rate (beats/min)}}$	60 - 90	mL/beat
5.	Stroke Index (SI)	$\frac{\text{Stroke Volume (mL/beat)}}{\text{Body Surface area (m}^2\text{)}}$	20 - 65	mL/beat/m <sup>2</sup>
6.	Right Ventricular Stroke-Work Index (RVSWI)	0.0136 (PA - CVP) x SI	30 - 65	g/m/beat/m <sup>2</sup>
7.	Left Ventricular Stroke-Work Index (LVSWI)	0.0136 (MAP - PAOP) x SI	46 - 60	g/m/beat/m <sup>2</sup>

a. Tekanan atrium kanan.

Tekanan atrium kanan diperoleh dari lumen proksimal kateter arteri pulmonalis, normal: 1-7 mmHg. Tekanan atrium kanan meningkat pada keadaan infark otot jantung, gagal jantung kanan, resistensi pembuluh darah pulmonal tinggi serta menurun pada keadaan hipovolemia, vasodilatasi pembuluh darah karena reaksi obat/ reaksi anafilaksis, dan sepsis dini.

b. Tekanan ventrikel kanan

Tekanan sistolik ventrikel kanan normal: 20-30 mmHg, tekanan diastolik normal: 0-5 mmHg. Tekanan ventrikel kanan meningkat pada keadaan dimana tekanan atrium kanan meningkat, stenosis katub pulmonal, defek septum ventrikel.

c. Tekanan arteri pulmonalis

Tekanan arteri pulmonalis diperoleh dari lumen distal kateter arteri pulmonalis. Tekanan sistolik arteri pulmonal normal: 20-30 mmHg, tekanan diastolik 5-10 mmHg, tekanan rata-rata < 20 mmHg. Tekanan diastolik arteri pulmonalis lebih besar dari tekanan diastolik ventrikel kanan karena sifat rekoil dan tonus otot polos pembuluh darah setelah ventrikel memompa darah.

d. Tekanan oklusi/ desak arteri pulmonalis

Disebut juga tekanan baji kapiler pulmonalis (PCWP). Bila balon kateter arteri pulmonalis di isi dengan sejumlah tertentu udara, aliran darah akan membawa kateter arteri pulmonalis ke cabang arteri pulmonalis yang berdiameter sama dengan balon sehingga aliran darah menjadi tersumbat. Tekanan kolom cairan pada transduser merupakan refleksi dari dasar kapiler pulmonalis sehingga

secara tidak langsung hal ini menggambarkan tekanan atrium kiri.

Bila katub mitral nonnal, tekanan bendungan arteri pulmonalis dan tekanan atrium kiri menggambarkan tekanan diastolik akhir ventrikel kiri / TDAVKi.

Tekanan diastolik akhir ventrikel kiri menentukan *preload* atau regangan ventrikel kiri sebelum berkontraksi. Tekanan oklusi arteri pulmonalis diukur pada akhir ekspirasi paru normal atau sewaktu kateter arteri pulmonalis terletak di zona dua paru (lobus medius paru kanan oleh karena tekanan perfusi dan ventilasi hampir sama). Zona tiga paru (lobus bawah paru kanan) merupakan posisi terbaik untuk menilai tekanan oklusi arteri pulmonalis.

Interpretasi hasil pengukuran tekanan oklusi arteri pulmonalis.

1. Tekanan oklusi arteri pulmonalis meningkat pada:

- Kongesti paru ringan: 18 - 20 mmHg.
- Kongesti paru sedang: 20 - 25 mmHg
- Kongesti paru berat: 25 - 30 mmHg
- Edema paru berat: > 35 mmHg

2. Tekanan diastolik arteri pulmonalis > tekanan oklusi arteri pulmonalis pada:

- Penyakit paru dan hipertensi pulmonal
- Emboli paru
- Hipoksia terjadi vasokonstriksi dan peningkatan resistensi pembuluh darah pulmonal)
- Takikardia > 130 x/ mt (meningkat palsu karena waktu pengisian diastolik berkurang)
- Kateter arteri pulmonalis berada di zona satu dan dua paru (ventilasi > perfusi)

Komplikasi kateter arteri pulmonalis termasuk semua komplikasi yang berhubungan dengan kanulasi vena sentral, ditambah dengan komplikasi pengisian balon arteri Pulmonalis:

- a. Infeksi: ditempat penusukan, endokardium dan katub trikuspid dapat menimbulkan septisemia atau disfungsi katub.
- b. Pneumotoraks, hematotoraks, silotoraks (duktus torasikus tertusuk).
- c. Mikrosyok karena arus listrik bocor, arus listrik maksimal yang diperbolehkan untuk peralatan medis adalah 0,001-0,01 mAmpere.

- d. Balon kateter arteri pulmonalis pecah dan sambungan terlepas dapat menimbulkan emboli paru, balon pecah dapat dicegah dengan:
- balon jangan diisi dengan cairan
  - balon jangan diisi melebihi kapasitas (1,5 ml udara untuk
  - kateter berukuran 7,5 F)
  - bila udara yang dimasukkan banyak, kateter ditarik
  - kembali ke arah ventrikel.
- e. Aritmia jantung sesaat, karena ventrikel teriritasi saat pemasangan kateter.
- f. Infark paru karena bendungan kateter yang lama.
- g. Cabang arteri pulmonalis pecah ke dalam bronkus terjadi hemoptisis.
- h. Perdarahan akibat pecahnya cabang arteri pulmonalis. Sering terjadi pada penderita usia tua diatas 60 tahun, hipertensi pulmonal, penggunaan anti koagulan dan operasi pintas kardiopulmonal.
- i. Terbentuk trombus disekeliling kateter.
- j. Kateter melekat pada ventrikel.
- k. Blok cabang berkas kanan sesaat.

e. Tekanan atrium kiri.

Meskipun tekanan atrium kiri tidak didapat secara langsung dari pengukuran kateter arteri pulmonalis, tetapi tekanan atrium kiri memberikan sejumlah informasi yang mirip dan sama dengan tekanan oklusi arteri pulmonalis. Pengukuran tekanan atrium kiri dapat dilakukan secara langsung dengan menempatkan kateter pada atrium kiri sewaktu operasi jantung. Tekanan bendungan arteri pulmonalis dan tekanan atrium kiri normal 4-12 mmHg. Bentuk gelombang atrium kiri mempunyai karakteristik yang sama dengan bentuk gelombang atrium kanan.

f. Curah jantung.

Curah jantung ditentukan oleh volume sekuncup dan frekuensi jantung permenit. Dalam keadaan normal bila salah satu variabel terganggu variabel lainnya harus mengkompensasi sehingga curah jantung tetap dipertahankan konstan.

Curah jantung dapat diukur dengan:

1. Persamaan *Fick*.

Curah jantung adalah jumlah konsumsi oksigen ( $VO_2$ ) dibagi dengan selisih kandungan oksigen (C) darah arteri-vena ( $CaO_2$  dan  $CvO_2$ )

$$\text{Curah Jantung} = \frac{\text{konsumsi oksigen}}{\text{perbedaan } a - \text{VO}_2} = \frac{\text{VO}_2}{\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2}$$

## 2. Penyuntikan zat warna (*dye dilution*).

Mengukur waktu sirkulasi zat warna yang disuntikkan ke dalam tubuh melalui kateter vena sentralis. Zat warna yang biasa digunakan adalah *indocyanine green dye* atau indikator lain seperti litium.

## 3. Teknik termodilusi.

Sejumlah cairan dengan suhu lebih rendah sedikit dari suhu tubuh (suhu kamar), bisa sebanyak: 2,5 ml, 5 ml, atau 10 ml disuntikkan kedalam *port* proksimalis kateter arteri pulmonalis dan komputer akan menghitung waktu yang dibutuhkan larutan untuk mencapai suhu tubuh. Kecepatan penyuntikan 5 detik dan dilakukan pada akhir ekspirasi.

Teknik termodilusi cara tidak langsung kurang akurat untuk menghitung curah jantung. Dalam suatu penelitian disebutkan rata-rata tingkat kesalahan relatif hasil

pemeriksaan termodilusi sekitar 16,6 % dengan standard deviasi sebesar 12,9 %.

Hubungan variabel-variabel ini dirumuskan dengan persamaan Stewart – Hamilton.

$$Q = \frac{V (TB - T_1) K_1 K_2}{TB (t) dt}$$

Q = curah jantung

K<sub>1</sub>/ K<sub>2</sub>= konstanta penghitung

V = volume larutan injeksi

TB (t) dt = perubahan waktu suhu darah.

TB = suhu tubuh

T<sub>1</sub> = suhu larutan injeksi

Faktor-faktor yang mempengaruhi curah jantung:

1. *Preload* (beban awal)

*Preload* adalah jumlah regangan ventrikel sebelum berkontraksi. *Preload* ventrikel kanan diukur secara tidak langsung dari tekanan vena sentralis atau dari tekanan atrium kanan. *Preload* ventrikel kiri diukur secara tidak langsung dari tekanan oklusi arteri pulmonalis atau tekanan atrium kiri.



Preload menurun/ tidak memadai pada keadaan:

- a. Hipovolemia, syok karena kehilangan plasma dan darah.
- b. Cairan berpindah tempat: efusi pleura, edema umum setempat: sekunder terhadap trauma, protein hilang, peninggian tekanan vena sentralis karena gagal jantung kongestif atau kor pulmonal.
- c. Hiperosmoler dan diuresis berlebihan.
- d. Diabetes insipidus menyebabkan hipovolemia dan hiperosmolaritas.

Preload meningkat pada keadaan:

- a. Beban volume berlebihan.
- b. Piraу jantung kiri ke kanan.
- c. S indroma hormon antidiuretik yang tidak layak (SIADH).

Peningkatan preload ini menyebabkan peregangan ventrikel berlebihan dan penurunan kontraksi.

## 2. *Afterload* (beban akhir)

Afterload adalah resistensi aliran darah yang sedang meninggalkan jantung ditentukan oleh resistensi pembuluh

darah. Afterload ventrikel kanan (*Pulmonary Vascular Resistance* = PVR) diukur dari sirkulasi pulmonal sebagai resistensi pembuluh darah pulmonal. Afterload ventrikel kiri (*Systemic Vascular Resistance* = SVR) diukur dari sirkulasi sistemik sebagai resistensi pembuluh darah sistemik.

*Afterload* tinggi ditemukan pada pasien-pasien yang mendapat obat-obat vasopressor, hipotermia dan disfungsi katub.

*Afterload* rendah ditemukan pada pasien vasodilatasi hebat karena reaksi anafilaksis obat, sepsis dini dan pada pasien neurogenik dengan tonus simpatis hilang.

$$\text{PVR} = \frac{80 (\text{PAP} - \text{PCWP})}{\text{CO}}$$

Normal: 20-130 dynes/ sec. cm - 5

PVR = Pumonary vascular resistance

PAP = Pulmonary arterial pressure

PCWP = Pulmonary capillary wedge pressure

CO = Cardiac output.

$$SVR = \frac{80 (MAP - CVP)}{CO}$$

Nilai normal: 700-1600 dynes/ sec. cm<sup>-5</sup>

SVR = Systemic vascular resistance

MAP = Mean arterial pressure

CVP = Central venous pressure

CO = Cardiac output.

### 3. Kontraktilitas

Kontraktilitas adalah kekuatan kontraksi otot, tidak dipengaruhi preload dan afterload. Dasarnya prinsip Starling's: jika peregangan serabut otot semakin panjang/jauh maka semakin besar pula kekuatan kontraksinya. Jika preload jantung konstan, kontraktilitas otot jantung dapat diukur secara langsung dari:

$$IKSVKi = IVS \times (TAR - TOAP) \times 0,136.$$

IKVKi = Indeks kerja ventrikel kiri

IVS = Indeks volume sekuncup

TAR = Tekanan arteri rata-rata

TOAP = Tekanan oklusi arteri pulmonalis

## **Bab IV**

### **Pemantauan Hemodinamik Pasien Khusus**

#### **1. Elektroensefalogram <sup>(37)</sup>.**

Pemantauan *electroencephalogram* (EEG) kadang-kadang digunakan selama operasi serebrovaskuler untuk memastikan kecukupan oksigen serebri atau selama operasi kardiovaskuler untuk memastikan bahwa sinyal isoelektrik sudah ada sebelum sirkuit aliran darah dihentikan. Hantaran EEG yang digunakan biasanya penuh, 16 hantaran.

#### **2. Evoked potentials (EP) <sup>(10,38)</sup>.**

Pemantauan potensial aksi (EP) non invasif digunakan untuk menilai fungsi saraf dengan mengukur respon elektrofisiologi terhadap rangsang sensoris maupun motoris. EP intraoperatif digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya cedera neurologis yang timbul akibat prosedur operasi yang dilakukan seperti pada operasi fusi tulang belakang dengan instrumentasi, reseksi tumor medulla spinalis, reseksi tumor serebri, operasi epilepsi, operasi perbaikan aneurisma aorta torako abdominal. EP yang

dipantau umumnya adalah potensial aksi batang otak: *brainstem auditory evoked respons* (BAER), *somatosensory evoked potentials* (SEPs), *motor evoked potentials* (MEPs).

### 3. Stimulasi saraf tepi <sup>(2,10,12)</sup>.

Stimulasi saraf tepi digunakan untuk memantau kecukupan obat pelumpuh otot atau kelumpuhan otot yang terjadi selama induksi anestesi. Alat stimulator saraf tepi mengalirkan arus listrik sebesar 60-80 mA ke salah satu dari dua bantalan EKG atau ke jarum subkutis yang ditempatkan di atas saraf motorik perifer. Respon listrik atau mekanik yang timbul dari saraf yang mempersarafi otot diamati. Saraf otot yang biasa dipantau adalah saraf ulnaris yang mempersarafi otot adductor pollicis dan saraf fasialis yang mempersarafi otot *orbicularis oculi*.

### 4. Tonometri lambung <sup>(39)</sup>.

Perfusi splannik sangat sensitif terhadap transport oksigen global dan mukosa usus sangat mudah terpengaruh iskemia karena mekanisme arus balik vili. Pemantauan PH intramukosa lambung dapat digunakan untuk mendeteksi adanya iskemia terselubung. Balon semipermeabel di isi dengan larutan salin dan dimasukkan ke dalam lambung, CO<sub>2</sub> lambung kemudian akan menembus membran balon masuk

ke dalam larutan salin. Setelah terdapat periode seimbang, salin di aspirasi dan kadar CO<sub>2</sub> diukur.

Pada saat yang sama darah arteri diambil dan diperiksa untuk mendapatkan kadar bikarbonat. Kadar CO<sub>2</sub> mukosa lambung disubsitusikan kedalam persamaan Handerson - Hasselback sehingga kadar PH intramukosa lambung diperoleh.

Kekurangan dari pemeriksaan tonometri lambung adalah kadar bikarbonat darah arteri tidak sama dengan kadar bikarbonat intramukosa pada keadaan:

- refluks bikarbonat dari duodenum
- usus tidak mengalami hipoperfusi misalnya pada syok septik
- vili lambung tidak ada

Kadar PH intramukosa lambung yang rendah menunjukkan prognosis yang buruk, walaupun terapi PH intramukosa menunjukkan perbaikan tetapi manfaat pemantauan tonometri lambung masih terus menjadi perdebatan para ahli.

## 5. Saturasi oksigen jugular bulb (SJ0<sub>2</sub>) <sup>(10)</sup>.

Pemantauan SJ0<sub>2</sub> dimaksudkan sebagai metode atau cara untuk mempersamakan SJ0<sub>2</sub> dengan CMRO<sub>2</sub>/ CBF.

Sesuai dengan prinsip Fick:  $AVDO_2 = CMRO_2 / CBF$ .

AVDO<sub>2</sub> = arterial-mixed venous oxygen difference.

CMRO<sub>2</sub> = cerebral oxygen metabolic rate.

CBF = cerebral blood flow.

Bila kadar SpO<sub>2</sub>, Hb dan afinitas Hb terhadap oksigen konstan diduga CMRO<sub>2</sub>/ CBF sebanding dengan saturasi oksigen vena campur otak.

Keterbatasan dari pemantauan SJ0<sub>2</sub>:

1. SJ0<sub>2</sub> menggambarkan kecukupan kiriman oksigen serebri global bukan regional.
2. Bila ekstraksi oksigen tinggi tidak dapat mengkompensasi penurunan oksigen deliveri sehingga nilai SJ0<sub>2</sub> sulit diperkirakan.

## **Bab V**

### **Kesimpulan**

Pemantauan hemodinamik pasien secara cermat, akurat, dan berkesinambungan dengan alat monitor non invasif bermanfaat digunakan untuk menilai fungsi hemodinamik dalam mengelola pemberian terapi terhadap pasien.

Dokter anestesi/ petugas medis harus selalu berada ditempat untuk memonitor hemodinamik pasien sehingga setiap gangguan yang timbul dapat dengan cepat terdeteksi dan segera dapat diatasi. Dalam keadaan tertentu: terutama bagi pasien-pasien usia tua, pasien dengan ko-morbid penyakit kardiovaskuler, gangguan sistim saraf pusat, dan penyakit pernapasan, stress pembedahan dan anestesi selama operasi akan memperberat fungsi fisiologi organ vital pasien tersebut. Agar fungsi fisiologi organ pasien tetap terjaga dalam batas normal, dokter anestesi/ petugas medis memerlukan alat pemantau hemodinamik pasien invasif.



Berbagai macam alat monitoring invasif dapat digunakan untuk memonitor hemodinamik pasien yang menjalani operasi-operasi yang rumit dan lama maupun bagi pasien-pasien kritis yang sedang menjalani perawatan di unit terapi intensif. Alat-alat pemantau hemodinamik invasif berharga mahal, teknik pemasangannya rumit, dan memerlukan ketrampilan khusus dari seorang dokter anestesia sehingga penggunaannya harus tepat guna dan sesuai indikasi.

Untuk menilai keadaan klinis pasien yang sesungguhnya hasil pemantauan hemodinamik non invasif dengan hasil pemantauan hemodinamik invasif harus selalu dipadukan untuk memperoleh diagnosis yang tepat sehingga dapat diberikan terapi yang sesuai untuk menolong penderita.

## **Bab VI**

### **Kepustakaan.**

1. Prgomet M, Morrell MC, Nicholson M, Lake R, Long J. Vital sign monitoring on general wards: clinical staff perception of currents practices and the planned introduction of continuous monitoring technology. *International J for Quality in Health care.* 2016; 28 (4): 515-21.
  
2. Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD eds. Noncardiovascular Monitoring. *In: Morgan & Mikhail's Clinical Anesthesiology.* 6<sup>th</sup> ed. New York. Mac Graw-Hill education Lange, 2018.
  
3. Cherpanath T, Aarts L, Groeneveld J, Geerts B. Defining fluid responsiveness: A guide to patient

tailored volume titration. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2014; 28: 745.

4. Scope of Modern Anesthesia Practice. In: Gropper MA. eds. *In: Miller's Anesthesia.* 9<sup>th</sup> ed. San Francisco, California. Elsevier, 2019.
5. Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD eds. The Practice of Anesthesiology. *In: Morgan & Mikhail's Clinical Anesthesiology.* 6<sup>th</sup> ed. New York. Mac Graw - Hill education Lange, 2018.
6. Noah B, Keller MS, Mosadhegi S, Stein L, Johl S, Delshad S, Tashjian VC, Lew D, Kwan JT, Jusufagic A. Impact of remote patient monitoring on clinical outcome: an up dated meta- analysis of randomized control trials. *Npj Digital medicine.* 2018; 1: 20172.
7. Darovic GO. *Hemodynamic Monitoring: Invasive and Noninvasive Clinical Application.* 3<sup>rd</sup> ed, San Diego. WB Saunders CO, 2002.

8. Knapp R. eds. *Hemodynamic Monitoring Made Incredibly Visual Incredibly Easy Series*. 3<sup>rd</sup> ed, New Jersey. Lippincott Williams & Wilkins, 2015.
9. Lough ME. eds. *Hemodynamic Monitoring: Evolving Technologies and Clinical Practice*. Stanford, California. Elsevier Mosby, 2016.
10. Rabai F, Sessions R, Seubert CN. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity. *Anaesthesiol.* 2016; 30: 53.
11. Westerhof N, Stergiopoulos N, Noble MIM. eds. Basic Hemodynamics Elements. In: *Snapshots of Hemodynamics: An Aid for Clinical Research and Graduate Education*. 2<sup>nd</sup> ed. Boston USA. Springer, 2010.
12. Cardiovascular Monitoring. In: Gropper MA. eds. *In: Miller's Anesthesia*. 9<sup>th</sup> ed. San Francisco, California. Elsevier, 2019.
13. Butterworth JF, Mackey DC, Wasnick JD. eds. Cardiovascular Monitoring. *In: Morgan & Mikhail's*

- Clinical Anesthesiology*. 6<sup>th</sup> ed. New York. McGraw-Hill Education Lange, 2018.
14. Coviello JS. eds. *In: Auscultation Skills: Breath & Heart Sounds*. 5<sup>th</sup> Philadelphia. Wolters Kluwer, 2013.
  15. Salvi P. eds. *Pulse Waves. In: How Vascular Hemodynamics Affects Blood Pressure*. 2<sup>nd</sup> ed. Springer, 2017.
  16. Rau R. eds. *Clinical Cardiology Made Easy*. 1<sup>st</sup> ed. Ahmedabad, Gujarat, India. Jaypee, 2015.
  17. Askari AT, Messerli AW. eds. *Cardiovascular Hemodynamics: An Introductory Guide*. 2<sup>nd</sup> ed. Boston USA. Springer, 2019.
  18. Sessler D. Temperature monitoring and perioperative thermoregulation. *Anesthesiology*. 2008; 109: 318.
  19. Cecconi M, Backer DD, Antonelli M. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med*. 2014; 40: 1795-815.

20. Peter JV, Pulicken M. Hypotension and shock. David SS, eds. *In: Clinical Pathway in Emergency Medicine*. Kerala: India. 2016: 179-90.
  
21. Takala J. Introduction to “Hemodynamic Monitoring”. In: Pinsky MR. Teboul JL. Vincent JL, eds. *Hemodynamic Monitoring*. The European Society of Intensive Care Medicine. Amsterdam. Springer, 2019.
  
22. Geisen M, Spray D, Fletcher S. Echocardiography based hemodynamic management in the cardiac surgical intensive care unit. *J Cardithorac Vasc Anesth*. 2014; 28: 733.
  
23. Breukers RM, Groeneveld AB, de Wilde RB, Jansen JR. Transpulmonary versus continuous thermodilution cardiac output after valvular and coronary artery surgery. *Interact CardioVas Thorac Surgery*. 2009; 9: 4.

24. Chizner MA. eds. *Clinical Cardiology Made Ridiculously Simple*. 2<sup>nd</sup> ed. California. MedMaster, 2007.
25. Marik P. Noninvasive cardiac output monitors: A state of the art review. *J Cardiovasc Thorac Anesth*. 2013; 27: 121.
26. Proenca M, Braun F, Muntane E, Sola J, Thiran Jp, Lemay M. Noninvasive pulmonary monitoring artery pressure by EIT: a model-based feasibility study. *J Medical & Biological Engineering & Computing*. 2017; 55 (6): 949-63.
27. Mynard JP, Kondiboyina A, Kowalski R, Cheung MMH, Smolich JJ. Measurment, Analysis and Interpretation of Pressure/ Flow Waves in Blood Vessels. *Front Physiol*. 2020.
28. Harrington DH. Hemodynamic monitoring. *In: McLaughlin MA. eds. Cardiovascular Care made Incredibly Easy*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia. Wolters Kluwer, 2020.

29. Mikalaitis MA. Obtaining a 12-lead ECG. In: *Coviello JS. eds. ECG Interpretation made Incredibly Easy*. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia. Wolters Kluwer, 2020.
30. Balmer J, Smith R, Pretty CG, Desai T, Shaw GM, Chase JG. Accurate end systole detection in diastolic notch-less arterial pressure waveform. *Journal of Clinical Monitoring and Computing, J Clin Monit Comput*. 2020.
31. Saouti N, Marcus JT, Noordegraaf AV, Westerhof. Aortic function quantified: the heart's essential cushion. *J of Applied Physiology*. 2012; 113 (8): 1285.
32. Falyar C. Ultrasound in anesthesia: Applying scientific principles to clinical practice. *AANA J*. 2010; 78: 332.
33. Springer AN, Gerhardt MA. Monitoring the Cardiac Surgical Patient. In: Gravlee GP. Shaw AD. Bartels



- K. eds. *In: Hensley's Practical Approach to Cardiothoracic Anesthesia*. Philadelphia. Wolters Kluwer, 2018.
34. Tabima DM, Philip JL, Chesler NC. Right Ventricular - Pulmonary Vascular Interactions. Feature Analysis of Lower Extremity Arterial Lesions in 162 Diabetes Patients. *J of Diabetes Research*. 2013: 1.
35. Trip P, Westerhof, Noordegraaf AV. eds. Function of the Right Ventricle. *In: The Right Ventrikel*. Amsterdam. Springer, 2014: 9-18.
36. Xie X, Wang. Theoretical Model of Coronary Blood Flow Regulation: Role of Myocardium Compressive Forces. *Microcirculation J*. 2015; 22 (8): 677 - 686.
37. Thirumala PD, Thiagarajan K, Gedela S, Crammond DJ, Balzer JR. Diagnostic accuracy of EEG changes during carotid endarterectomy in predicting perioperative strokes. *J Clin Neurosci*. 2016; 25: 1.
38. Nwachuku EL, Balzer JR, Yabes JG, et al. Diagnostic value of somatosensory evoked potential changes during carotid endarterectomy: A systematic

review and meta-analysis. *JAMA Neurol.* 2015; 72: 73.

39. Gastrointestinal Physiology and Pathophysiology. In: Gropper MA. eds. *In: Miller's Anesthesia.* 9<sup>th</sup> ed. San Fransisco, California. Elsevier, 2019

## INDEX

### A

AVDO<sub>2</sub>: Arterial-mixed venous oxygen difference 61  
AV : Atrio Ventricular 41,44

### B

BAER: Brainstem auditory evoked respons 58  
BSA: Body surface area 47

### C

CBF: Cerebral blood flow 61  
CI: Cardiac index 47  
CMRO<sub>2</sub> = Cerebral oxygen metabolic rate 61  
CO<sub>2</sub>: Carbondioksida 15, 26,27  
CO: Cardic output 9, 56, 57  
CRT: Capillary refill time 14, 15  
CVP: Central venous pressure 9, 34, 47, 57

### E

EEG: Electroencephalogram 58

HbO<sub>2</sub>: Oksihemoglobin 23

### I

IKVKi: Indeks kerja ventrikel kiri 57

IVS: indeks volume sekuncup 57

### L

LVSWI: Left ventricular stroke-work index 47

### M

MAP: Mean arterial pressure 9, 18, 47, 57  
MEPs: Motor evoked potentials 58

### N

NIBP: Non invasive blood pressure 11

### P

EKG: Elektrokardiogram 19, 20  
21, 22, 40, 59  
EP: Evoked potentials 58

## **F**

FG: French 33

## **G**

GCS: Glasgow coma scale 7

## **H**

HOTMAN: Haemodynamic and oxygen transport monitoring and management system 30

HR: Heart rate 9, 21 47

Hb: Hemoglobin 23, 25, 38, 61

SIADH: Syndrome of inappropriate antidiuretic hormone 55

SI: Stroke index 47

SR: Sinus rhythm 21

SV: Stroke volume 9, 47

SVR: Systemic vascular resistance 9, 56, 57

## **T**

TAR: Tekanan arteri rata-rata 18, 57

TDAVKi: Tekanan diastolic akhir ventrikel kiri 49

TEE: Transesophageal echocardiography 27

TTE: Transthoracic echocardiography 27

TOAP: Tekanan oklusi arteri pulmonalis 57

TPR: Total peripheral resistance 47

## **U**

UGD: Unit gawat darurat 2, 6

UTI: Unit terapi intensif 1, 2, 3,

PA: Pulmonary arterial 56

PAOP: Pulmonary arterial occlusion pressure 47

PCWP: Pulmonary capillary wedges pressure 48, 56

## **R**

RVSWI: Right ventricular stroke-work index 47

## **S**

ScvO<sub>2</sub>: Central venous oxygen saturation 38

SEPs: Somatosensory evoked potentials 58

24, 63



## Biodata Penulis

Robert Hotman Sirait, lahir tanggal 1 Oktober 1962 di Siraituruk Porsea, Tapanuli Utara, Sumatra Utara. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) Negeri ditempuhnya di desa Nalela, dan Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri Porsea 1 di Siraituruk. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di tempuh di SMA Negeri 8 Medan (1977-1979) dan dilanjutkan ke SMA Negeri 14 Jakarta, tamat tahun 1981. Pendidikan dokter umum ditempuh di Fakultas Kedokteran UKI Jakarta, lulus tahun 1989. Setelah lulus dari FK UKI menjadi asisten dosen di Departemen Ilmu Kesehatan Anak RSU FK UKI sampai tahun 1991. Melaksanakan dokter Pegawai Tidak Tetap (PTT) di Puskesmas Kecamatan Samboja, Kabupaten Kutai, Kalimantan Timur dari tahun 1992-1995. Selesai menjalani tugas dokter PTT sempat bekerja sebagai dokter lepas pantai (*off shore*) Pertamina. Tahun 1996 kembali ke RSU FK UKI dan bekerja di unit terapi intensif (UTI) sampai bulan Juni tahun 1997. Atas bantuan RSU FK UKI, mengikuti pendidikan dokter spesialis anestesi di FK UNPAD Bandung dari bulan Juli tahun 1997 sampai bulan Pebruari tahun 2002 dan sejak lulus menjadi dosen tetap ilmu anestesi di almamaternya. Mengikuti pendidikan Pascasarjana (S3) Ilmu Kedokteran di Fakultas Kedokteran UNHAS Makassar mulai bulan Agustus tahun 2014, dan lulus bulan Maret tahun 2018 dengan predikat cum laude. Di almamaternya mengabdikan menjadi dosen, dokter SMF Anestesiologi RSU-UKI, kepala departemen ilmu anestesi, ketua *medical unit education* (MEU), dan sejak bulan Agustus tahun 2018 menjadi Dekan FK UKI. Menikah tahun 1995 dengan seorang dokter gigi dan mempunyai dua orang anak laki-laki yang sudah dewasa.



UKI PRESS  
Pusat Penelitian dan Percetakan  
Universitas Kristen Indonesia  
Jl. Mayjen Sutoyo No. 2, Jakarta Timur  
Telp : (021) 8092425, 8009190

ISBN 978-623-6789-05-6

