

Tinjauan Kepustakaan

CPET : Gambaran Umum dan Penggunaan pada Klien Gagal Jantung *CPET : Overview And The Use In Heart Failure*

Aloysius Yuwono Suprpta¹, Aditya Sri Listyoko², Susanthy Djajalaksana²

¹ Residen Jantung dan Pembuluh Darah, Departemen/SMF Jantung dan Pembuluh Darah FKUB-RSUD dr. Saiful Anwar Malang.

² Divisi Asma, Departemen/SMF Pulmonology dan Kedokteran Respirasi FKUB-RSUD dr. Saiful Anwar Malang.

Diterima 15 Januari 2022; direvisi 13 Januari 2022; publikasi 5 Februari 2022

INFORMASI ARTIKEL

Penulis Koresponding:

Aloysius Yuwono Suprpta. SMF
Jantung dan Pembuluh Darah
FKUB-RSUD dr. Saiful Anwar
Malang.
Email:
aloyusius.pelitikasih@gmail.com

ABSTRAK

*Cardiopulmonary exercise test (CPET) atau uji latih jantung paru merupakan modalitas non-invasif yang digunakan untuk menilai tingkat kebugaran seseorang. Penilaian atas mekanisme pertukaran gas yang terjadi di tahap respirasi secara *breath - to - breath* akan menggambarkan pertukaran gas di tingkat selular. Pemantauan pertukaran gas ini menjadi parameter dalam menilai tentang kelainan-kelainan yang menyebabkan terganggunya proses metabolisme aerob di dalam tubuh. Paramater-parameter pada CPET ini membantu klinisi dalam memilah dan menilai faktor penyebab gangguan dypnea atau kelelahan saat aktivitas, apakah gangguan di sisi sistem pernafasan, sistem kardiovaskular, ataukah di sisi muskuloskeletal. Di samping itu, CPET juga menjadi modalitas dalam menentukan prognosis dan kelayakan transplantasi jantung pada klien dengan gagal jantung (heart failure). Penilaian peak VO₂ ≥ 14 mL/kg/menit memberikan gambaran *cumulative survival* yang lebih baik pada pasien gagal jantung, dan O₂ pulse ≥ 10 mL/beat menunjukkan *event-free survival* yang lebih baik.*

Kata Kunci: Cardiopulmonary Exercise Test, Anaerobic Threshold, peak VO₂, Gagal Jantung.

ABSTRACT

Cardiopulmonary exercise test (CPET) is a non-invasive modality used to assess a person's exercise capacity. An assessment of the gas exchange mechanism that occurs in the breath-to-breath stage of respiration will describe gas exchange at the cellular level. Monitoring of gas exchange is a parameter in assessing abnormalities that cause disruption of aerobic metabolic processes in the body. These parameters in CPET assist clinicians in sorting and assessing the factors that cause dyspnea or fatigue during activity, whether disorders on the respiratory system, cardiovascular system, or musculoskeletal side. In addition, CPET is also a modality in determining the prognosis and feasibility of heart transplantation in clients with heart failure. Peak VO₂ assessment 14 mL/kg/min gave a better picture of cumulative survival in heart failure patients, and O₂ pulse 10 mL/beat showed better event-free survival.

Keywords Cardiopulmonary Exercise Test, Anaerobic Threshold, peak VO₂, Heart Failure.



PENDAHULUAN

Penyakit jantung dan paru merupakan penyakit yang semakin meningkat di Indonesia, terlebih lagi dengan adanya pandemi COVID 19. Dengan semakin meningkatnya kejadian penyakit jantung dan paru di Indonesia, maka perlu kiranya tindakan pencegahan dan diagnosis dini untuk menghasilkan luaran yang lebih baik.

Jantung dan paru-paru merupakan organ yang saling berkaitan. Fungsinya akan saling mendukung dalam proses distribusi gas dan hasil metabolik. Pemahaman tentang fungsi jantung dan paru sangat bermanfaat dalam menentukan tingkat kebugaran seseorang, terutama dalam kaitannya dengan kemampuan aktivitas seseorang, evaluasi pengobatan dan prognosis suatu penyakit.¹⁻³

Seiring meningkatnya kasus cardiovascular maka modalitas non invasif sangat diperlukan untuk memberikan penanganan lebih baik kepada pasien. Cardiopulmonary Exercise Test (CPET) merupakan modalitas non invasive yang memberikan gambaran yang lebih baik dibandingkan modalitas latihan jantung lainnya terkait penilaian kebugaran seseorang dan fungsi metabolisme tubuh pada saat melakukan aktivitas.¹

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui fungsi CPET secara umum dan untuk mengetahui gambaran CPET pada klien dengan *heart failure*. Dari penulisan ini, diharapkan pembaca mendapatkan gambaran umum tentang fungsi, mekanisme, dan interpretasi CPET secara umum dan memiliki gambaran

tentang interpretasi CPET pada klien dengan *heart failure*.

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Fungsi, Indikasi dan Kontraindikasi CPET

Cardiopulmonary Exercise Test berfungsi untuk mengukur kadar konsumsi Oksigen (O₂) dan produksi Karbon Dioksida (CO₂) yang terjadi selama proses latihan/aktivitas. Pengukuran ini dilakukan secara terus-menerus selama test, menggunakan masker *non-rebreathing* yang disambungkan pada layar monitor. Dengan asumsi bahwa jumlah Oksigen yang dikonsumsi dan Karbon Dioksida yang diproduksi (terhitung melalui pernafasan) adalah sama dengan jumlah Oksigen dan Karbon Dioksida yang digunakan pada tahap level cellular, maka hasil dari perhitungan tersebut memiliki nilai persamaan pada tingkat selular.^{2,4,5}



Gambar 1. Sarana CPET Ergocycling di RSSA

Sumber : Dokumentasi Pribadi

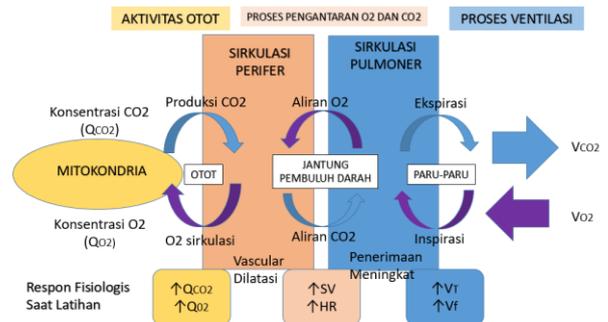
Ketika dilakukan latihan, maka akan terjadi perubahan fisiologis pada tubuh yang menyebabkan terjadinya perubahan parameter-parameter gas yang terukur. Perubahan-perubahan tersebut meliputi penurunan *systemic*

vascular resistance (SVR), peningkatan ekstraksi oksigen, peningkatan *stroke volume* (SV), peningkatan laju jantung (HR), dan berpengaruh pada peningkatan *cardiac output* (CO). Hasil dari pengukuran parameter-parameter gas tersebut dapat digunakan sebagai data untuk menentukan kemungkinan permasalahan yang dialami oleh klien (apakah di sisi ventilasi, cardiovascular, atau aktivitas otot) dan prognosis kapasitas / kemampuan latihan klien.^{2,6,7}

Salah satu manfaat uji latihan jantung paru CPET adalah menilai kapasitas fungsional / kemampuan latihan seseorang. Kapasitas fungsional (*functional capacity*) didefinisikan sebagai kemampuan maksimal yang dapat dilakukan oleh seseorang pada tingkat latihan maksimal yang dapat dicapai. Kemampuan fungsional ini menunjukkan kapasitas seseorang dalam melaksanakan setidaknya latihan yang submaksimal, atau lebih singkatnya menunjukkan tingkat kebugaran seseorang.

Penilaian kapasitas fungsional ini diukur dengan menggunakan MET (*Metabolic Equivalent*). MET juga diartikan sebagai jumlah total oksigen yang dikonsumsi oleh jaringan. Secara

matematis, 1 MET setara dengan 3,5 mL/kg per menit pada pria dewasa dengan berat badan 70 kg.² Pada aktivitas sehari-hari, gambaran aktivitas dari ringan hingga berat dapat dikelompokkan dalam rentang METs yang tercantum pada **Tabel 2**.



Gambar 2. Proses Konsumsi Oksigen dan Produksi Karbon Dioksida di Tingkat Pernafasan Hingga Tingkat Selular. V_{CO_2} : Karbondioksida ventilasi; V_{O_2} : Oksigen ventilasi; O_2 : Oksigen, CO_2 : Karbondioksida; V_{CO_2} : Pengeluaran Karbondioksida; V_{O_2} : Pemasukan Oksigen; VT : Tidal Volume; V_f : Frekuensi Pernafasan; SV : Strok Volume; HR : Heart Rate/Laju Jantung; Q_{CO_2} : Produksi Karbondioksida; Q_{O_2} : Penggunaan Oksigen.

Sumber: Ilani, R. V. M., Avie, C. J. L., Ehra, M. R. M. & Entura, H. O. V. *Understanding the Basics of Cardiopulmonary Exercise Testing*. **70121**, 1603–1611 (2006).

Berdasarkan AHA 2002, CPET memiliki indikasi sebagai tertulis pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1 Indikasi Pelaksanaan CPET.^{7,8}

Kelas	Indikasi
I	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengevaluasi kapasitas latihan dan respon terhadap pengobatan pasien dengan gagal jantung yang dipertimbangkan untuk dilakukan transplantasi jantung. 2. Sebagai penunjang untuk membedakan penyebab antara keterbatasan jantung atau keterbatasan paru pada kasus dyspnea saat latihan atau gangguan kapasitas latihan yang tidak jelas penyebabnya.
II A	Mengevaluasi kapasitas latihan ketika diindikasikan untuk alasan medis, pada pasien yang penilaian estimasi kapasitas latihan-nya menggunakan <i>exercise test time</i> diragukan.
II B	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengevaluasi respon pasien terhadap terapi yang diberikan di mana tujuan akhir dari terapi tersebut adalah untuk meningkatkan toleransi latihan. <p>Menentukan intensitas latihan sebagai bagian dari rehabilitasi jantung terpadu.</p>
III	Pelaksanaan rutin untuk menilai kapasitas latihan.

Pada klien yang tidak bergejala (terutama pada atlet), CPET diindikasikan sebagai sarana penapisan dan menentukan batas aktivitas fisik sebelum melakukan prosedur latihan yang direncanakan.⁹

CPET ini. Secara umum, segala gejala klinis akut yang mengancam nyawa ketika dilakukan latihan atau pemberian beban kerja adalah suatu kontraindikasi dalam pelaksanaan CPET.⁷

Ada beberapa hal yang menjadi kontraindikasi pada pelaksanaan

Tabel 2. Kontraindikasi Absolut dan Relatif pada Pelaksanaan CPET.⁷

Kontraindikasi Absolut	Kontraindikasi Relatif
1. Acute myocardial infarction (3-5 hari)	1. Left main coronary stenosis atau yang sederajat.
2. Unstable angina	2. Valvular heart disease stenotik derajat sedang.
3. Aritmia tidak terkontrol yang bergejala atau mengganggu hemodinamik	3. Hipertensi berat (saat istirahat) yang tidak terkontrol atau dengan gangguan hemodinamik (sistolik >200 mmHg, > 120 mmHg diastolik).
4. Syncope	4. Tachyarrhythmias atau bradyarrhythmias.
5. Endokarditis aktif	5. AV block derajat tinggi.
6. Myocarditis akut atau pericarditis	6. Hypertrophic cardiomyopathy.
7. Aortik stenosis berat yang simtomatik	7. Pulmonary hypertension yang signifikan.
8. Heart Failure yang tidak terkontrol	8. Kehamilan lanjut atau yang complicated.
9. Akut emboli pulmoner atau pulmonary infarction	9. Gangguan elektrolit.
10. Trombosis ekstremitas bawah	10. Gangguan orthopedic yang mengganggu pelaksanaan latihan.
11. Kecurigaan diseksi aorta	
12. Asma tidak terkontrol	
13. Pulmonary edema	
14. Desaturasi pada <i>room air</i> < 85%	
15. Respiratory Failure	
16. Penyakit akut non-cardiopulmoner yang dapat mengganggu proses latihan atau memberat jika dilakukan latihan (contohnya : infeksi, renal failure, thyrotoxicosis)	
17. Gangguan mental yang mengarah pada sulitnya berkoordinasi	

Pertimbangan untuk menghentikan CPET meliputi pencapaian VO₂ max dengan beban yang adekuat (RER > 1,15 atau dari kadar laktat darah > 8 mmol/liter.¹ Disamping itu, pertimbangan kelelahan otot klien, dyspnea yang berlebihan, dan perasaan melayang (light-headedness) juga menjadi indikasi menghentikan CPET. Aritimia jantung umumnya bukanlah indikasi untuk menghentikan pelaksanaan CPET kecuali timbulnya takiaritmia menetap (sustained tachyarrhythmias). Penurunan

tekanan darah di bawah tekanan darah baseline juga menandakan indikasi penghentian CPET.⁷

Tabel 3. Indikasi Untuk Menghentikan CPET⁷

1. Nyeri dada dengan kecurigaan ischemia.
2. Tanda ischemia pada EKG
3. Complex ectopy
4. AV Block derajat 2 atau 3
5. Penurunan tekanan darah sistolik > 20 mmHg dari nilai tertinggi selama latihan.
6. Hipertensi (TDS > 250 mmHg; TDD > 120 mmHg.
7. Desaturasi berat dengan SpO ₂ ≤ 80%

- disertai dengan gejala dan tanda hypoxemia berat.
- 8. Perubahan menjadi pucat secara tiba-tiba.
- 9. Kehilangan koordinasi.
- 10. Pusing atau pingsan.
- 11. Tanda-tanda Gagal Nafas (Respiratory Failure)
- 12. Terjadi perubahan status mental (Mental Confusion).

Pelaksana kegiatan CPET perlu memahami bahwa pelaksanaan uji latih jantung paru (CPET) ini juga memiliki beberapa komplikasi yang mungkin terjadi. Komplikasi-komplikasi ini perlu diinformasikan kepada klien dalam tahap *informed consent* guna memberikan gambaran menyeluruh dari proses pelaksanaan CPET ini. Adapun komplikasi yang dapat terjadi selama pelaksanaan CPET diantaranya : kematian, tercetusnya infak miokardial, aritmia, ketidakstabilan hemodinamik, dan terjadinya cedera otot dan tulang.

Tahap Persiapan CPET

Persiapan yang baik diperlukan untuk mencegah kemungkinan terjadinya kesalahan dalam proses pengumpulan data. Hal pertama yang dapat dilakukan adalah melakukan kalibrasi pada sistem CPET meliputi pengukuran Fraksi Inspirasi oksigen (FiO2 Room Air), CO2 analyzer, dan

breath - to - breath CPET system. Perhatikan pula software yang digunakan. Di samping itu, klien juga perlu dipersiapkan dengan mengikuti pedoman sebagai berikut :¹⁰

1. Gunakan pakaian yang nyaman untuk berolahraga.
2. Tidak makan atau merokok setidaknya 2-3 jam sebelum test.
3. Upayakan menghindari minuman ber-caffein di hari test.
4. Jangan berolahraga di hari tes.
5. Melakukan anamnesis dan pemeriksaan fisik untuk melihat kontraindikasi pelaksanaan test (terutama pada klien yang memiliki sistolik murmur).
6. Lakukan pencatatan terhadap obat-obat yang dikonsumsi klien. Pertimbangan penghentian beta blocker hanya berdasarkan kebutuhan test, dan dilakukan secara bertahap.
7. Lakukan pemeriksaan 12 lead EKG pada posisi berbaring dan berdiri untuk meyakinkan kelainan jantung (sekaligus sebagai monitor kontraindikasi tes).
8. Dilakukan penjelasan kepada klien tentang prosedur yang akan dilakukan.

Tabel 4. Pertimbangan Pemilihan *Cycle Ergometry* vs *Treadmill*^{9,11,12}

Variabel	Cycle	Treadmill
Peak VO2	Lebih rendah	Lebih tinggi
Perhitungan Work Rate	Ya	Tidak
Pengambilan Gas Darah	Mudah	Lebih sulit
Noise dan artefacts	Sedikit	Lebih banyak
Keamanan	Lebih aman	Kurang aman
Weight bearing pada subjek obese	Sedikit	Lebih banyak
Derajat latihan pada otot kaki	Sedikit	Lebih banyak
Lebih dipilih pada kondisi :	Sebagai pasien	Pada subjek yang normal aktif.

Persiapan penunjang lainnya untuk meningkatkan ketepatan interpretasi adalah persiapan EKG, penghitung tekanan darah, dan

pengukur saturasi darah. Electrocardiography (EKG) digunakan selama latihan / protocol hingga 6 menit fase recovery. Tekanan darah dihitung secara periodik setiap 2 – 3 menit, atau dapat lebih sering pada pasien dengan risiko tinggi. Pelaksana CPET juga perlu mengetahui gejala-gejala yang timbul selama dan setelah proses latihan, seperti sulit bernafas (dyspnea), nyeri dada, dan sulit bergerak/kelelahan. Tanyakan pula kepada klien hal-hal khusus seperti penggunaan *implantable cardiac defibrillator* untuk mengatur *peak heart rate* di bawah dari target alat defibrillator tersebut.

Pemilihan Prosedur / Protokol

Test protocol yang digunakan dapat menggunakan sepeda statis atau berjalan pada *treadmill*. Lamanya waktu yang diharapkan untuk mencapai hasil yang baik adalah 8 – 12 menit.^{6,7} Pemilihan alat pelaksanaan CPET disesuaikan dengan kebutuhan dan keadaan dari klien. Pada klien dengan aktivitas fisik terganggu (misalnya pada kasus obese) maka pemilihan menggunakan ergocycle lebih disarankan. Sedangkan, pada klien dengan aktivitas normal dan ingin menilai kemampuan peak VO₂, pemilihan *treadmill* disarankan. Pertimbangan pemilihan alat pelaksanaan CPET dapat dilihat pada tabel 4.

Apabila pelaksanaan CPET menggunakan sarana *treadmill*, maka dalam penilaian jantung paru disarankan untuk menggunakan Bruce Protocol atau Modified Bruce Protocol. Bruce protocol memiliki 7 stage dengan tingkatan grade dan kecepatan yang berbeda-beda. Waktu antara peningkatan stage 1 ke

berikutnya memerlukan waktu 3 menit. Apabila klien dapat melaksanakan 7 stage, maka setidaknya memerlukan waktu 21 menit dalam pelaksanaan Bruce protocol ini. Bruce protocol dimulai dengan kecepatan 1,7 mph (*miles per hours*) yang dimasukkan pada grade 10%. Kemampuan latihan stage 1 ini setara dengan +/- 5 METs atau latihan ringan. Dalam 3 menit berikutnya maka masuk pada stage 2 dengan kecepatan ditingkatkan menjadi 2,5 mph. Prosedur dilakukan hingga mencapai VO₂ max atau tanda-tanda penghentian prosedur ditemukan (tabel 3).¹

Di lain sisi, modified Bruce protocol memiliki stage yang lebih banyak sehingga waktu kerja yang lebih panjang. Modified Bruce protocol ini baik digunakan bagi klien yang memiliki keterbatasan kapasitas fungsional atau dengan kemampuan < 4 METs. Stage 1 dimulai dengan kecepatan 1,7 mph yang dipertahankan hingga stage 3. Kecepatan yang konstan selama 3 stage ini bertujuan untuk melihat kemampuan klien dalam melakukan latihan *treadmill*. Prosedur dilakukan hingga mencapai VO₂ max atau tanda-tanda penghentian prosedur ditemukan (tabel 3).^{1,13}

Pada klien dengan penyakit gagal jantung, maka disarankan untuk menggunakan protocol Naughton. Klien dengan gagal jantung masuk dalam subjek dengan risiko tinggi. Protokol Naughton memberikan uji submaksimal yang diawali dengan pemanasan selama 4 menit pada stage 1. Kecepatan yang diberikan pun tidak mengalami perubahan, yaitu 2 mph hingga akhir dari stage 7.

Tabel 5. Perbandingan Treadmill Protokol.^{1,13}

Protokol Bruce				Protokol Modified Bruce			
Stage	Kecepatan (mph)	Grade (%)	Waktu (Menit)	Stage	Kecepatan (mph)	Grade (%)	Waktu (Menit)
1	1,7	10	3	1	1,7	0	3
2	2,5	12	3	2	1,7	5	3
3	3,4	14	3	3	1,7	10	3
4	4,2	16	3	4	2,5	12	3
5	5	18	3	5	3,4	14	3
6	5,5	20	3	6	4,2	16	3
7	6	22	3	7	5	18	3
				8	5,5	20	3
				9	6	22	3

Protokol Naughton			
Stage	Kecepatan (mph)	Grade (%)	Waktu (menit)
1	2	0	4 (pemanasan)
2	2	3,5	2
3	2	7	3
4	2	10,5	3
5	2	14	3
6	2	17,5	3
7	2	21	2

Apabila pelaksanaan CPET menggunakan sarana ergocycle, maka protocol yang dapat dilakukan adalah protocol ergocycling. Daya kerja ergocycle dihitung dalam satuan watt (W) atau satuan kilopond meter/menit, di mana 1 W = ~6,1 kpm/menit. Daya kerja awal yang digunakan pada pasien gagal jantung adalah 20 - 25 W (120 - 152 kpm/menit) lalu ditingkatkan 15 - 25 W setiap 2 menit hingga mencapai latihan maksimal.⁷

Standar Pemeriksaan CPET

Beberapa standar pemeriksaan yang dilakukan selama CPET adalah sebagai berikut

Konsumsi Oksigen (VO2)

Konsumsi oksigen (VO2) merupakan jumlah oksigen yang dikonsumsi dalam satu menit. Satuan yang digunakan adalah liter per kilogram berat badan per menit. Konsumsi oksigen ini didapatkan dari perhitungan langsung jumlah oksigen

yang dikonsumsi per menit, atau dapat melalui estimasi. Estimasi VO2 mengikuti kaidah perhitungan Fick, yaitu :^{2,3,7}

$$VO2 = CO \times (CaO2 - CvO2)$$

$$VO2 = (HR \times SV) \times (CaO2 - CvO2)$$

$$VO2 \text{ max} = (HR_{\text{max}} \times SV_{\text{max}}) \times (CaO2_{\text{max}} - CvO2_{\text{max}})$$

di mana:

CO = Cardiac Output,

HR = Heart Rate,

SV = Stroke Volume,

CaO2 = Konsentrasi oksigen pada arteri,

CvO2 = Konsentrasi oksigen pada vena.

Istilah lainnya yang digunakan juga adalah *peak VO2* (Pk VO2), yang artinya VO2 tertinggi (puncak) yang dapat dicapai ketika melakukan CPET. Peak VO2 menunjukkan kapasitas maksimal tubuh dalam menghasilkan energy melalui proses metabolisme aerobic. Untuk menentukan METs dari

hasil $pkVO_2$ maka nilai $pkVO_2$ dapat dibagi dengan 3.5 mL/kg/menit.^{2,14}

Dengan teknik treadmill, perkiraan kapasitas aerobik (VO_2 atau METs) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :¹

$$VO_2 \text{ (jalan)} = 3,5 + (0,1 \times \text{kecepatan}) + (1,8 \times \text{kecepatan} \times \text{grade})$$

$$VO_2 \text{ (lari)} = 3,5 + (0,2 \times \text{kecepatan}) + (0,9 \times \text{kecepatan} \times \text{grade})$$

di mana satuan kecepatan adalah meter/menit, dan grade ditulis dengan angka decimal.

Bruce Protokol	Bicycle Ergometer	Perhitungan O_2 mL/kg/mnt	METS	Status Klinis	Kelas Fungsional
3mnt/stage	1 watt = 6,1 Kpm/menit				Normal dan kelas Fungsional I
MPGH - %GR	Dg Estimasi berat badan = 70kg				
5,5 - 20%					
5,0 - 18%					
		56,0	16		
		52,5	15		
4,2 - 16%	1500	49,0	14		
		45,5	13		
		42	12		
3,4 - 14%	1.350	38,5	11		
		35,0	10		
	1.050	31,5	9		
	900	28,0	8		
2,5 - 12%	750	24,5	7		
	600	21	6		
1,7 - 10%	450	17,5	5		
1,7 - 5%	300	14	4		
1,7 - 0%	150	10,5	3		
		7	2		
		3,5	1		

Gambar 3. Perbandingan Protokol Ergocycle dan Treadmill.

Sumber: Froelicher, V. F. *Exercise and the Heart, Fifth Edition.* (Saunders Elsevier, 2006).

Tabel 6. Nilai METs²

Value	Kegiatan yang dilakukan
1.5 - 4 METs	Aktivitas ringan atau pekerjaan sederhana seperti bersih-bersih di rumah.
3 - 6 METs	Aktivitas moderate dan aktivitas seksual.
5 - 15 METs	Aktivitas berat atau olahraga berat.

Produksi Karbon Dioksida (VCO_2)

Produksi karbon dioksida (VCO_2) merupakan jumlah karbon dioksida yang diproduksi tubuh selama satu menit. Satuan yang digunakan adalah liter per kilogram

berat badan per menit. Perhitungan yang digunakan adalah menghitung kadar karbon dioksida yang dihasilkan selama proses CPET.²

Respiratory Exchange Ratio (RER)

Respiratory exercise reserve merupakan perbandingan CO_2 dengan O_2 yang dihasilkan pada proses pertukaran gas hasil metabolisme di jaringan tubuh. Perbandingan ini untuk memperlihatkan kecukupan usaha dari klien saat melaksanakan CPET. Level RER secara langsung berkaitan dengan akumulasi laktat pada otot sehingga secara kuantitatif dapat menunjukkan usaha klien saat latihan. Ketika Ratio > 1.10 (yang artinya kadar CO_2 tinggi akibat produksi non-metabolik) artinya upaya dari klien saat melaksanakan CPET adalah baik atau telah mencapai AT. Namun, ketika ratio < 1.0 maka beberapa kemungkinan dapat dipertimbangkan adalah kurangnya upaya dari klien. Kurang upaya dari klien ini dapat dikarenakan gangguan pada cardiovascular, gangguan muskuloskeletal, atau keterbatasan kemampuan pernafasan.^{2,6,7}

Tabel 7. Interpretasi Nilai RER²

Nilai	Keterangan
< 1.0	Poor effort
1.0 - 1.1	Fair effort
1.1 - 1.2	Good effort
> 1.2	Excellent effort

Minute Ventilation (VE)

Minute ventilation adalah jumlah volume pernafasan dalam satu menit, yang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

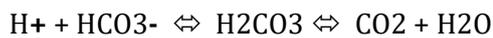
$$VE = VA + VD^2$$

$$VE = VT \times RR^6$$

di mana,
 VA = ventilasi alveolar per menit,
 VD = ventilasi death space per menit,
 VT = Volume tidal.

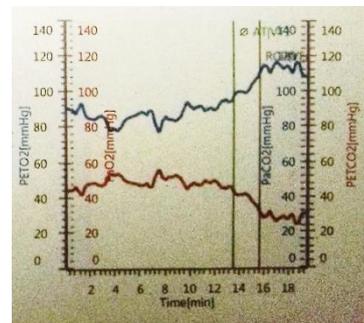
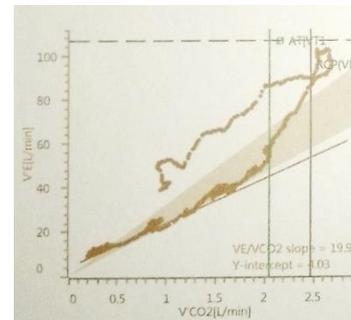
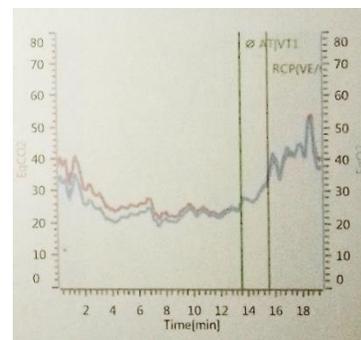
Anaerobic Threshold (AT)

Anaerobic threshold (AT) atau *ventilatory threshold* merupakan batas kemampuan aerobik klien yang digantikan oleh mekanisme anaerobik. Situasi ini terjadi ketika kebutuhan metabolisme akan oksigen pada saat latihan melebihi kemampuan pengiriman oksigen, sehingga muncullah mekanisme anaerobik. *Anaerobic threshold* merupakan perhitungan tidak langsung dari produksi laktat pada proses anaerob. Asam laktat yang dihasilkan dari proses anaerob akan mengalami proses buffering oleh bicarbonate sehingga menghasilkan karbondioksida non-metabolik. Peningkatan jumlah karbon dioksida ini akan menyebabkan reaksi peningkatan ventilasi (VE) akibat dari respon *chemoreceptors* pada *carotid bodies*.^{2,15}



Anaerobic threshold sangat mempengaruhi aktivitas harian seseorang. Semakin cepat terjadinya AT menunjukkan semakin terbatas aktivitas harian orang tersebut karena asam laktat yang diproduksi oleh mekanisme anaerobic mengurangi waktu kerja otot. *Anaerobic threshold* umumnya berada pada kisaran 47% - 64% VO₂ max / pk VO₂, dapat meningkat pada individu dengan pelatihan rutin. Dalam mengidentifikasi tingkat risiko perioperative pada pasien tua yang akan menjalani operasi mayor, AT di bawah 11 mL/kg/menit menunjukkan tingkat risiko tinggi.²

Menentukan AT melalui perhitungan diagram dapat menggunakan 3 pola umum, yaitu metode **V-slope** (VCO₂/VO₂), garis potong pada *ventilatory equivalent* oksigen (VE/VO₂) dengan *ventilatory equivalent* karbondioksida (VE/VCO₂), dan garis lurus tekanan *end-tidal* oksigen (PETO₂) dengan *end-tidal* karbon dioksida (PETCO₂). Dengan menggabungkan setidaknya tiga diagram ini, maka akan ditemukan garis nilai AT dengan lebih tepat.^{2,6,7}



Gambar 4. Diagram *Ventilatory Threshold* berdasarkan A. VCO₂/VO₂, B. Titik perubahan VE/VCO₂, dan C. PET O₂ dan PET CO₂.

Sumber : Dokumentasi pribadi

Oxygen Pulse (O2 Pulse)

Oxygen pulse didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dikonsumsi dari volume darah yang mengalir ke jaringan di setiap detak jantung. *Oxygen pulse* merupakan perhitungan tidak langsung untuk menilai stroke volume (SV) individu.² Perhitungan O2 Pulse terkait dengan rumus Fick, di mana :

$$VO_2 = (HR \times SV) \times (CaO_2 - CvO_2)$$

dengan asumsi bahwa konsentrasi oksigen arteri dan vena tidak berubah/konstan ketika mencapai *peak exercise*, maka persamaan tersebut dapat dilihat sebagai :

$$VO_2/HR \text{ (O}_2 \text{ pulse)} = SV$$

Oxygen pulse akan mengalami penurunan pada klien dengan gangguan fungsi ventrikel kiri dan / atau penyakit katub jantung, yang secara fisiologis mempengaruhi penurunan stroke volume.²

Rasio Ventilasi – Produksi Karbon dioksida (VE/VCO₂)

Penghubung utama dari respon sirkulasi dengan ventilatori adalah produksi karbon dioksida. Sehingga, hubungan antara ventilasi dan produksi karbon dioksida ini merupakan salah satu petunjuk dari *ventilatory efficiency*. Secara singkatnya, rasio VE/VCO₂ menunjukkan hubungan antara ventilasi dan perfusi.

Tabel 8. Interpretasi Nilai VE/VCO₂^{2,6}

Nilai	Keterangan
< 35	Normal
> 40	Kategori risiko tinggi pada pasien dengan gagal jantung (HF)
> 60	Berkaitan dengan Penyakit yang kompleks

Di awal latihan, rasio VE/VCO₂ sedikit menurun oleh karena relasi yang baik antara ventilasi dan produksi karbon dioksida. Ketika latihan berlangsung, rasio VE/VCO₂ meningkat secara konstan karena pernafasan VE dapat mengimbangi VCO₂. Ketika mencapai latihan puncak (*peak exercise*) produksi laktat terjadi yang menandakan terjadinya proses anerobik atau tercapainya AT. Peningkatan asam laktat ini meningkatkan produksi karbon dioksida non-metabolik yang merangsang reflek chemoreceptor sehingga meningkatkan frekuensi pernafasan. Peningkatan frekuensi pernafasan ini menyebabkan peningkatan VE sehingga rasio VE/VCO₂ sedikit meningkat.^{2,7}

Heart Rate Reserve dan Breathing Reserve (BR)

Dalam kondisi latihan maksimal, *heart rate reserve* seharusnya mendekati 0. Dengan perhitungan **prediksi maximal heart rate = 220 - usia (dalam tahun)**, maka target yang diharapkan pada saat melakukan CPET adalah HR Reserve < 15% (atau mencapai 85% prediksi maximal *heart rate*). Ketika ditemukan hasil dengan *HR reserve* > 15%, perlu dipertimbangkan ketidakadekuat melaksanakan latihan atau kemungkinan terjadinya *chronotropic incompetence*. Kejadian *chronotropic incompetence* menunjukkan kemungkinan peningkatan risiko kematian pada pasien dengan penyakit kardiovaskular.¹ Penilaian pada *HR reserve* perlu memperhatikan kondisi-kondisi pada pasien karena *heart rate* dapat dipengaruhi faktor obat yang dikonsumsi klien (contohnya beta blocker). Sehingga, pada klien dengan penggunaan beta

blocker, penilaian *HR reserve* perlu penyesuaian.⁶

Ventilatory reserve atau *breathing reserve* (BR) memiliki rentangan 30% - 50%, setidaknya tidak boleh < 20%. Perhitungan ini menggunakan rumus :

$$BR = 1 - V_{Emax}/MVV$$

dengan MVV adalah *maximum voluntary ventilation*, yang dihitung secara langsung ataupun secara tidak langsung. Perhitungan langsung menggunakan pernafasan inspirasi-ekspirasi secara sadar yang cepat dan dalam, selama 12 - 15 detik. Perhitungan tidak langsung menggunakan rumus **FEV1 x 40**. Hasil dari MVV ini menunjukkan kapasitas maksimal ventilasi dan daya tahan otot-otot pernafasan. Apabila BR rendah (disertai penurunan saturasi oksigen), maka dimungkinkan penyebabnya berasal dari pernafasan. Sebaliknya, apabila BR tinggi, maka pengaruh cardiovascular bisa dipertimbangkan.²

EKG, Tekanan Darah dan Saturasi

Di samping melihat perubahan gas dan rasio-rasionya, pelaksanaan CPET juga memantau kondisi klien dengan pemasangan dan pemantauan rutin EKG, tekanan darah, dan saturasi oksigen. Ke tiga alat ini dipasang selama proses pelaksanaan CPET berlangsung. Pelaksana diharuskan memantau parameter-parameter ini untuk melihat kemungkinan terjadinya kejadian yang berkaitan dengan indikasi menghentikan pelaksanaan CPET (lihat **Tabel 3**).

Tekanan darah sistolik akan meningkat seiring proses fase latihan hingga mencapai tahap mendatar

(plateau). Sedangkan untuk tekanan darah diastolic cenderung akan tetap sama atau sedikit menurun selama proses fase latihan. Apabila dalam penilaian tekanan darah berkelanjutan ditemukan peningkatan tekanan darah sistolik kurang dari 20 - 30 mmHg atau (justru) penurunan tekanan darah di bawah dari tekanan darah istirahat, maka kejadian ini mengindikasikan gangguan pada jantung pembuluh darah, diantaranya : aortic outflow obstruction, disfungsi berat pada ventrikel kiri, iskemia miokardium, atau penggunaan obat sebelumnya (contohnya penggunaan obat antihipertensi). Pertimbangkan pula kondisi di luar masalah jantung pembuluh darah apabila terjadi hipotensi selama latihan, seperti dehidrasi dan pelaksanaan waktu latihan yang memanjang. Pemeriksaan tekanan darah secara otomatis dapat dilakukan dalam selang waktu 2-3 menit.¹

Saturasi oksigen (yang tergambarkan pada *pulse oxymetry*) menunjukkan estimasi proses oksigenisasi selama proses latihan. Bentuk *pulse oxymetry* yang dapat digunakan yaitu alat yang diletakan pada telinga pasien atau pada jari. Apabila dalam proses CPET ditemukan saturasi oksigen menurun > 5%, maka pelaksana perlu mempertimbangkan kejadian abnormal hypoxemia yang terinduksi oleh latihan (abnormal exercise-induced hypoxemia). Hasil yang menunjukkan saturasi oksigen < 80% merupakan tanda desaturasi yang mengindikasikan penghentian pelaksanaan CPET.¹

Dari data-data tersebut di atas, maka dapat digabungkan nilai normal dari masing-masing perhitungan sebagai berikut :¹⁶

Tabel 9. Nilai Normal Variabel Perhitungan CPET.⁷

Variabel	Nilai Normal
pkVO ₂	> 84% predicted
AT	> 40% pkVO ₂ (40% – 80%)
HR max	> 90% age predicted
Heart Rate Reserve	< 15 beats/min
Tekanan darah	< 220/90
O ₂ pulse (VO ₂ /HR)	> 80%
Ventilatory / Breathing Reserve (BR)	MVV – VEmax > 11 Liter, atau VEmax/MVV x 100 < 85%
Laju Pernafasan (Respiratory Rate)	< 60 x.menit
VE/VCO ₂ pada AT	< 34

Di samping variable-variabel terukur di atas, pelaksana juga harus sigap menilai tanda kegawatan jantung paru, perubahan fisik/ mimik wajah, dan tanda-tanda kelelahan dari klien. Penggunaan skala Borg dan Visual Analog Scale (VAS) akan membantu menilai intensitas latihan yang dirasakan oleh klien. Pencapaian skala Borg 17 menunjukkan upaya yang maksimal (dan dianggap reliable) dalam pelaksanaan CPET.¹

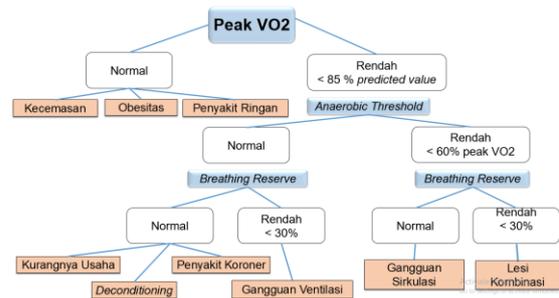
Interpretasi CPET

Cardiopulmonary Exercise Test ini memiliki manfaat untuk mengestimasi METs seseorang (melalui pengukuran peak VO₂). Disamping itu, CPET memiliki manfaat dalam menentukan penyebab kesulitan bernafas (dyspnea) saat aktivitas, dan melihat respon jantung dan paru-paru ketika dilakukan latihan.¹⁷ Gangguan pertukaran gas dapat terjadi pada beberapa level, diantaranya gangguan pada tahap konsumsi di tingkat mitochondria, gangguan transportasi oleh sistem kardiovaskular, atau gangguan dalam proses pertukaran gas di sistem pernafasan. Mengetahui lokasi atau proses terjadinya gangguan akan memberikan dampak luas dalam penanganan klien. Kemampuan ini yang tidak dimiliki pada standar diagnosis lainnya, seperti tes treadmill.

Merujuk pada diagram alur American Medical Association dalam menentukan kemungkinan penyebab dyspnea dan fatigue saat latihan/ aktivitas, maka pola pikir pertama adalah menentukan peak VO₂ (pk VO₂) terlebih dahulu. Dengan melihat apakah pk VO₂ kurang dari 85% (predicted VO₂) sebagai cut point, maka nilai yang < 85% dimasukkan dalam nilai Rendah dan > 85% menunjukkan nilai normal. Jika klien mampu mencapai nilai pkVO₂ 85% saat latihan, yang artinya kemampuan konsumsi oksigen mencapai target, maka kemungkinan dyspnea atau fatigue diakibatkan oleh kecemasan, obesitas, atau penyakit ringan lainnya.²

Pada pk VO₂ yang rendah (<80%), kita melihat nilai AT. Dengan rentangan nilai normal AT 47% - 64% predicted pk VO₂, maka nilai di bawah 40% menunjukkan nilai rendah patologis yang mengarah pada *circulatory insufficiency*. Selanjutnya kita bandingkan nilai BR, di mana rentangan nilai BR berkisar antara 30% - 50%. Pada klien yang mencapai BR < 30, maka kecenderungan untuk terjadinya gangguan ventilasi, terlebih lagi jika ditunjukkan dengan adanya penurunan saturasi oksigen saat latihan.²

Pada pk VO₂ yang rendah namun tidak ditemukan gangguan metabolik lainnya, maka perlu dipertimbangkan untuk melihat RER. Apabila RER < 1.0 maka dimungkinkan dyspnea dan fatigue terjadi karena kurangnya usaha (poor effort), kecemasan (anxiety), atau penyakit ringan lainnya.²



Gambar 5. Diagram Alur Interpretasi CPET.

Sumber: Ilani, R. V. M., Avie, C. J. L., Ehra, M. R. M. & Entura, H. O. V. Understanding the Basics of Cardiopulmonary Exercise Testing. **70121**, 1603-1611 (2006).

CPET pada Klien HF

Beberapa penelitian menunjukkan manfaat penggunaan CPET sebagai sarana evaluasi klien dengan sistolik *heart failure* (HF).^{18,19} Pada studi Veteran Administratin Heart Failure Trial, pasien dengan VO₂ max ≤14 mL/kg/ menit menunjukkan tingkat mortalitas 2x lebih tinggi dibandingkan pasien dengan VO₂ max lebih dari 14 mL/kg/menit.²⁰ Pada kasus pasien HF yang menjalani transplantasi jantung, pk VO₂ merupakan predictor tunggal dalam menentukan survival rate pasca

transplantasi, sehingga CPET merupakan modalitas penting pada saat evaluasi awal pada pasien dengan HF tingkat lanjut yang akan menjalani transplantasi jantung.²

Pada pasien yang obese, dengan kadar lemak yang lebih banyak, maka akan mengganggu perhitungan dari $\dot{V}O_2$.⁵ Kondisi obese ini sering ditemukan pada pasien dengan HF. Untuk memberikan hasil penilaian yang lebih akurat, penggunaan lean body mass jauh lebih baik dibandingkan penggunaan $\dot{V}O_2$ tradisional yang menggunakan *total weight-adjusted values*. Nilai $\dot{V}O_2$ dengan *cut off* 19 mL/kg/minute pada lean body mass memberikan nilai prognosis yang lebih baik dilihat dari kurve survival. Dengan mengukur lemak tubuh menggunakan metode 3 posisi lipat kulit (skin fold test) akan membantu menentukan lean body mass klien sebelum melakukan CPET.²

Selain menghitung $\dot{V}O_2$, Oksigen pulse (O_2 pulse) juga dapat digunakan untuk mengevaluasi prognosis pasien dengan HF. Penggunaan O_2 pulse yang disesuaikan dengan lean body mass dengan *cut off point* 14 mL/beat memberikan prognosis *event-free survival* lebih baik pada pasien HF.²

Pada kasus pasien HF yang mendapatkan terapi maksimal, dalam hal ini pemberian beta-blocker, laju jantung (HR) pasien akan terpengaruh oleh efek obat. Perubahan HR ini akan mempengaruhi nilai prognosis $\dot{V}O_2$. Dalam hal ini, O_2 pulse memberikan penilaian prognosis lebih baik dibandingkan $\dot{V}O_2$. Di lain sisi, pasien HF memiliki keterbatasan dalam aktivitas fisik oleh karena ambang nyeri angina yang rendah atau ventricular arritmia berat, maka perhitungan VE/VCO₂ memberikan gambaran layaknya $\dot{V}O_2$. Penurunan nilai VE/VCO₂ kurang dari 10% di awal latihan memberikan gambaran $\dot{V}O_2 < 14$ mL/kg/ menit dan *outcome* yang buruk pada pasien HF.²

RINGKASAN

Cardiopulmonary exercise test (CPET) merupakan modalitas non-invasif yang bermanfaat dalam menentukan tingkat kebugaran seseorang, terutama kaitannya dengan penggunaan oksigen dalam proses metabolisme tubuh. Dengan parameter-parameter yang ada, kemampuan menilai tingkat kebugaran melalui CPET ini akan membantu dalam membedakan dyspnea saat aktivitas yang diakibatkan oleh faktor pernafasan, faktor jantung, atau gabungan dari keduanya (mix). Kemampuan menilai tingkat kebugaran ini juga dapat digunakan untuk menilai prognosis pada klien dengan gagal jantung. $\dot{V}O_2$ max nilai *cut off* 19 mL/kg/menit yang disesuaikan dengan lean body mass memberikan patokan lebih baik dalam menilai prognosis cumulative survival pada pasien dengan gagal jantung. Di lain sisi, O_2 pulse dengan nilai *cut off* 14 mL/kg/menit yang disesuaikan dengan lean body mass memberikan gambaran lebih baik dalam menilai event-free survival pada klien gagal jantung.

DAFTAR PUSTAKA

1. PERKI. Pedoman Uji Latih Jantung: Prosedur dan Interpretasi. *Perki* 53 (2016).
2. Ilani, R. V. M., Avie, C. J. L., Ehra, M. R. M. & Entura, H. O. V. Understanding the Basics of Cardiopulmonary Exercise Testing. **70121**, 1603-1611 (2006).
3. Arena, R. *et al.* Assessment of functional capacity in clinical and research settings: A scientific statement from the American Heart Association committee on exercise, rehabilitation, and prevention of the council on clinical cardiology and the council on cardiovascular nursing. *Circulation* **116**, 329-343 (2007).
4. Nichols, S. A clinician ' s guide to cardiopulmonary exercise testing 1: an introduction. **76**, 192-195 (2015).
5. Toma, N. Cardiopulmonary exercise testing in differential diagnosis of dyspnea. **5**, 214-218 (2010).
6. Balady, G. J. *et al.* Clinician ' s Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing in Adults A Scientific Statement From the American Heart Association. 191-225 (2010) doi:10.1161/CIR.0b013e3181e52e69.
7. Albouaini, K., Egred, M., Alahmar, A. & Wright, D. J. Cardiopulmonary exercise testing and its application. 675-682 (2007) doi:10.1136/hrt.2007.121558.
8. Gibbons, R. J. *et al.* ACC / AHA Practice

- Guidelines ACC / AHA 2002 Guideline Update for Exercise Testing : Summary Article. **6083**, 1883–1892 (2002).
9. Kowlgi, G. & Hsu, J. J. Exercise Physiology for the Sports Cardiology Fellow. 1–11 (2021).
 10. Series, I. Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET). **201**, (2020).
 11. Dean, A. *et al.* *ACSM's Guideline Exercise Testing and Prescription 10th Edition*. (Wolters Kluwer, 2016).
 12. Weisman, I. M. *et al.* American Thoracic Society / American College of Chest Physicians ATS / ACCP Statement on Cardiopulmonary. **167**, 211–277 (2003).
 13. Froelicher, V. F. *Exercise and the Heart, Fifth Edition*. (Saunders Elsevier, 2006).
 14. A Clinician ' s Guide to Cardiopulmonary Exercise Testing: Part 2 - Test Interpretation. **76**, 281–289 (2015).
 15. Maron, B. A., Cockrill, B. A., Waxman, A. B. & Systrom, D. M. Clinician Update The Invasive Cardiopulmonary Exercise Test. 1157–1164 (2013) doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.112.104463.
 16. Ittermann, T. *et al.* Reference values for cardiopulmonary exercise testing in healthy volunteers : the SHIP study. **33**, 389–397 (2009).
 17. Guazzi, M. *et al.* EACPR / AHA Scientific Statement 2016 Focused Update : Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. 694–711 (2016) doi:10.1161/CIR.0000000000000406.
 18. Husain, K., Ansari, R. A. & Ferder, L. Alcohol-induced hypertension: Mechanism and prevention. *World J. Cardiol.* **6**, 245 (2014).
 19. Corra, U., Mezzani, A., Bosimini, E. & Giannuzzi, P. Exercise and the Heart Cardiopulmonary Exercise Testing and Prognosis in Chronic Heart Failure. (2004) doi:10.1378/chest.126.3.942.
 20. Jay N. Cohn, M. . *et al.* A Comparison of Enalapril with Hydralazine-Isosorbide Dinitrate in The Treatment of Chronic Congestive Heart Failure. *N. Engl. J. Med.* **329**, 977–986 (1991).