

SIRKULASI PULMONER DAN SIRKULASI BRONKIAL

Dimas Bayu Firdaus^{1*}, Oea Khairsyaf², Afriani³

^{1,2,3}Bagian Pulmonologi dan Kedokteran Respirasi FK Universitas Andalas, Padang
RSUP Dr. M. Djamil, Padang

*Email Korespondensi: Bdimasb@gmail.com

Submitted: 02-09-2021, Reviewer: 22-09-2021, Accepted: 03-10-2021

ABSTRACT

Pulmonary circulation is the flow of blood from the heart to the lungs, then back to the heart. Compared to the systemic circulation, pulmonary circulation has different properties, this is due to differences in anatomical, histological, and functional differences between the two circulations. Pulmonary circulation starts from the pulmonary valve in the right ventricle and flows until it finally enters the pulmonary blood vessels in the wall of the heart's left atrium. The pulmonary arteries supply all the capillaries in the alveoli walls and form the surface of the lungs which is two-thirds of the area of a tennis court or about 70 square meters. Pulmonary arteries have thinner walls than systemic arteries. The cross-sectional structures involved in the diffusion of oxygen and carbon dioxide have a thickness of 1/10 of the cross-sectional distance of the diffusion in the peripheral tissue. Pulmonary blood flow regulation is carried out by lung volume, heterogeneity and vascular resistance. Pulmonary vascular resistance can be accessed passively like body position, and lung volume or actively through the regulation of pulmonary blood smooth muscle.

Keywords: *circulation, pulmonary, systemic*

ABSTRAK

Paru memiliki sifat berbeda, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan anatomis, histologi, dan fungsi dari kedua sirkulasi. Sirkulasi pulmoner dimulai dari katup pulmonal pada ventrikel kanan dan mengalir hingga akhirnya masuk kembali ke pembuluh darah paru di dinding atrium kiri jantung. Arteri pulmonalis memperdarahi seluruh kapiler pada dinding alveoli dan membentuk permukaan paru yang luasnya dua pertiga luas lapangan tenis atau sekitar 70meter persegi. Arteri pulmonal memiliki dinding yang lebih tipis dibandingkan arteri sistemik. Struktur penampang yang terlibat dalam difusi oksigen dan karbon dioksida memiliki ketebalan 1/10 dari jarak penampang difusi dalam jaringan perifer. Regulasi aliran darah pulmonalis dipengaruhi oleh volume paru, heterogenitas dan resistensi vaskular. Resistensi vaskular pulmoner dapat dipengaruhi secara pasif seperti gravitasi, posisi tubuh, dan volume paru maupun secara aktif melalui pengaturan tonus otot polos pembuluh darah pulmoner.

Kata Kunci: *Sirkulasi, Pulmoner, Sistemik*

PENDAHULUAN

Suplai vaskular paru terdiri dari sirkulasi pulmoner dan sirkulasi bronkial. Sirkulasi

bronkial memberikan aliran darah arteri sistemik ke pleura dan jalan napas yaitu trakhea, bronkus, pleura viseral,

mediastinum posterior dan vasa vasorum arteri pulmoner, dan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan metabolik.(Guyton AC, 2016; Kacmareck, 2017) Sirkulasi pulmoner berasal dari ventrikel kanan dan berperan dalam pertukaran gas di alveoli.(West, 2012) Pada alveoli paru terdapat jalinan kapiler (*capillary bed*) dengan kepadatan tinggi yang berperan dalam proses difusi gas.(Murray, 2016)

Sirkulasi pulmoner mengakomodasi seluruh curah jantung, dan mengatur darah dengan aliran tinggi pada tekanan intravaskular yang rendah.(Sharara et al., 2017) Dibandingkan dengan sirkulasi sistemik, sirkulasi pulmoner memiliki sifat berbeda yang disebabkan karena adanya perbedaan anatomis, histologi, dan fungsi dari kedua sirkulasi.(Rasmin et al., 2017; Suresh & Shimoda, 2016)

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi sirkulasi pulmoner, berupa struktur pembuluh darah, gaya gravitasi, efek mekanis dari pernapasan, dan pengaruh dari faktor persarafan. Sirkulasi pulmoner memberikan respons terhadap kondisi hipoksia. Hal ini berbeda dengan sirkulasi sistemik yang dipengaruhi oleh penurunan konsentrasi oksigen dalam darah.(Rasmin et al., 2017)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan suatu artikel review yang mengulas beberapa Kepustakaan terkini terkait sirkulasi pulmoner dan sirkulasi bronkial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anatomi

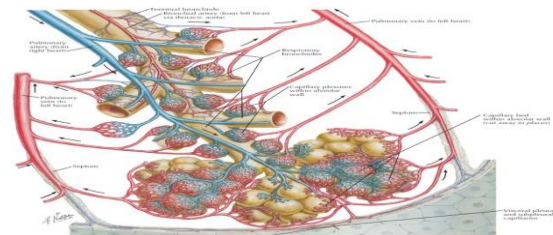
Arteri Pulmonalis

Arteri pulmonalis berasal dari ventrikel kanan yang menerima darah dengan kadar O₂ rendah dari vena sistemik. Darah ini dipompakan dari ventrikel kanan melalui katup semilunar dan masuk ke trunkus

pulmonalis.⁶ Sirkulasi pulmoner dimulai dari katup pulmonal pada ventrikel kanan dan mengalir hingga akhirnya masuk kembali ke pembuluh darah paru di dinding atrium kiri jantung.(Rasmin et al., 2017)

Trunkus pulmonalis muncul dari infundibulum ventrikel kanan melalui lubang dari katup paru. Trunkus pulmonalis mempunyai panjang sekitar 3 cm dan diameter 5 cm, terletak seluruhnya dalam perikardium seperti halnya aorta. Trunkus pulmonalis berjalan ke atas dan mundur ke dalam mencekung dari lengkungan aorta, di mana ia terbagi menjadi dua arteri pulmonalis utama yaitu arteri pulmonalis kanan dan kiri.(Kacmareck, 2017; Rasmin et al., 2017)

Arteri pulmonalis memperdarahi seluruh kapiler pada dinding alveoli dan membentuk permukaan paru yang luasnya dua pertiga luas lapangan tenis atau sekitar 70meter persegi. Sirkulasi ini berjalan mengikuti percabangan bronkus sampai ke bronkiolus respiratorius dan sistem ini dikenal dengan axial arteri. (Netter, 2011).(Smith et al., 2015)



**Gambar 1. Jalinan Kapiler Alveolar
Dikutip dari (Netter, 2011)**

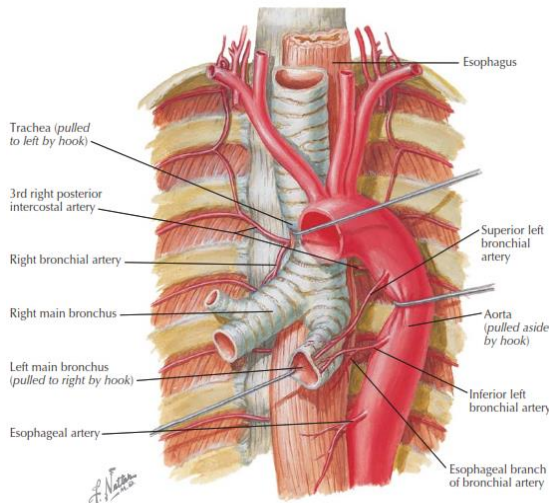
Vena Pulmonalis

Semua darah intrapulmonal mengalir ke vena pulmonalis. Vena terletak di pinggiran uni tacinus, lobulus, atau segmen manapun. Vena menerima aliran dari jaringan kapiler alveolar, pleura, dan saluran udara. Venula yang berasal dari jaringan kapiler ditemukan satu-satu di dalam parenkim, dan berjalan ke arah jalan napas. Venula ditopang oleh selapis tipis jaringan ikat dan memasuki

septum interalveolar. Setelah meninggalkan lobulus, vena mengikuti percabangan bronkus ke arah hilus lalu masuk ke atrium kiri.(Netter, 2011; Rasmin et al., 2017)

Arteri Bronkialis

Asal dari arteri bronkialis bervariasi, baik secara langsung dari aorta atau dari arteri intercostal. Arteri bronkial dibagi menjadi arteri bronkial kanan, arteri bronkial superior kiri, dan arteri bronkial inferior kiri. Arteri bronkial kanan merupakan arteri tunggal yang terletak pada dinding posterior bronkus dan bercabang menjadi dua mengikuti percabangan bronkus. Antara satu arteri dengan yang lain terdapat anastomosis baik dari arteri bronkial kanan maupun kiri. Anastomosis interbronkial ini dikenal dengan juttin asa.(Netter, 2011; West, 2012)



Gambar 2. Percabangan Arteri Bronkialis

Pembuluh darah bronkial menyuplai darah arteri ke percabangan trakeobronkial dari paru sampai ke tingkat bronkiolus terminalis. Sirkulasi bronkial juga menyuplai darah ke kelenjar getah bening daerah hilus, viseral pleura, arteri dan vena pulmonalis, nervus vagus, dan kerongkongan. Struktur paru distal dari bronkiolus terminal termasuk bronkiolus respiratorius, saluran alveolar, kantong alveolar, dan alveoli, menerima oksigen

langsung melalui difusi dari udara alveolar dan nutrisi dari campuran darah vena dalam sirkulasi paru.(Murray, 2016; West, 2012)

Vena Bronkialis

Idealnya semua darah vena yang berasal dari jaringan akan kembali ke atrium kanan jantung untuk dipompa ke dalam paru yang merupakan tempat pertukaran gas. Bagian tersebut menyebabkan darah yang terdeoksigenasi dari jalan napas mengkontaminasi darah yang kembali dari alveoli.(MG Levitzky, 2018; Netter, 2011)

Darah mengalir melalui vena bronkial, yang mengalir langsung ke vena pulmonalis, dan melalui vena thebesian miokardium ventrikel, yang mengalir ke ventrikel kiri, membentuk pirau kanan-ke-kiri, biasanya membawa hingga 5% dari curah jantung. Pirau darah dari kanan ke kiri meningkat dengan adanya jalur anatomi yang abnormal seperti defek septum intrakardiak dan fistula arteriovenosa paru, hal ini disebut sebagai pirau anatomis.(Netter, 2011)

Pada pirau fisiologis aliran darah menuju unit paru dengan rasio ventilasi-perfusi rendah karena obstruksi bronkial atau atelektasis atau karena alveoli terisi oleh cairan atau sekresi inflamasi.(Murray, 2016; Netter, 2011)

Vena dari kapiler arteri bronkialis dibawa kembali ke jantung oleh dua jalur yang berbeda. Vena bronkialis sebenarnya hanya ditemukan pada hilus, vena tersebut berasal dari bronkus lobaris dan segmental, dan dari cabang-cabang dari pleura di sekitar hilus tersebut. Mengosongkan darah vena bronkialis ke vena azygos, hemiazygos, atau vena interkostal dan kemudian mengalir ke atrium kanan. Vena yang berasal dari kapsuler bronkus di dalam paru bersatu untuk membentuk anak “sungai” vena yang bergabung dengan vena pulmonalis yang disebut vena bronkopulmonalis. Darah meninggalkan jaringan kapiler di sekitar terminal bronkiolus mengalir melalui kapiler

alveolar, dan kemudian kembali ke atrium kiri melalui vena pulmonalis.(Murray, 2016)

Histologi

Arteri pulmonal memiliki dinding yang lebih tipis dibandingkan arteri sistemik. Secara umum diameter arteri pulmonal berkisar antara 150-3000 μm , sedangkan pembuluh kapiler memiliki dinding yang sangat tipis, yaitu dengan diameter rata-rata 2 μm . Arteri pulmonal terdiri atas tunika intima yang tipis, kolagen, fibroblas dan lamina elastis, yang memungkinkan untuk terjadinya ekspansi. Struktur penampang yang terlibat dalam difusi oksigen dan karbon dioksida memiliki ketebalan 1/10 dari jarak penampang difusi dalam jaringan perifer.(Rasmin et al., 2017)

Fisiologi Sirkulasi Pulmoner

Fungsi Sirkulasi Pulmoner

Fungsi penting dari sirkulasi pulmoner adalah mengatarkan darah dari dan ke alveoli terjadi proses pertukaran gas. Fungsi penting lainnya adalah sebagai tempat resevoir atau penampungan darah, yaitu melalui mekanisme recruitment dan distention yang mana bertujuan untuk menurunkan tahanan tekanan vaskular pulmoner.(MG Levitzky, 2018; West, 2012)

Fungsi lain dari paru adalah sebagai penyaring darah. Suatu trombus darah kecil akan dihilangkan dari peredaran sebelum mereka dapat mencapai otak atau organ vital lainnya. Banyak sel darah putih yang terperangkap di paru dan kemudian dilepaskan, meskipun nilai ini tidak jelas.(Rasmin et al., 2017)

Sirkulasi pulmoner memiliki fungsi pertahanan. Endotel vaskular yang terdiri dari satu lapisan sel yang terletak sepanjang pembuluh darah berperan sebagai barier langsung pembuluh darah paru, inisiasi dan resolusi proses inflamasi dan memproses beberapa mediator sebelum dilepaskan ke sirkulasi sistemik.(Rasmin et al., 2017)

Volume dan Aliran Darah Paru

Volume darah di paru kira-kira 450 ml, sekitar 9% dari volume darah total pada seluruh sistem sirkulasi. Kira-kira 70 ml dari volume darah di paru berada di kapiler paru, sedangkan sisanya terbagi sama rata antara arteri dan vena paru.(Rasmin et al., 2017; West, 2012)

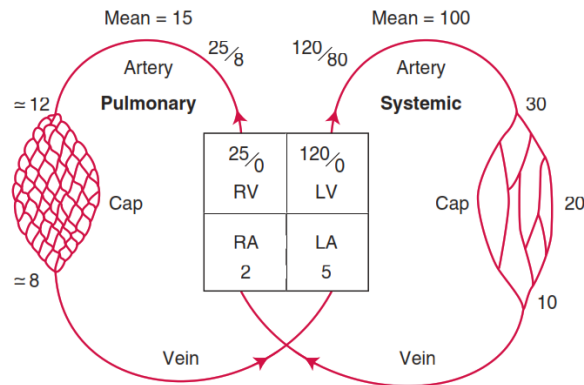
Aliran darah yang menuju sirkulasi pulmoner setidaknya sama dengan aliran darah yang menuju sirkulasi sistemik. Jumlahnya bervariasi kurang lebih 6 L/menit pada kondisi istirahat.(Naeije & Chesler, 2012) Jantung kanan memompakan darah ke sirkulasi pulmoner, dan jantung kiri memompakan darah ke tempat yang jauh lalu kembali ke paru. Oleh karena itu asalkan curah kedua sisi sama, volume darah paru akan tetap konstan.(Lumb & Pearl, 2017)

Tekanan pada Sirkulasi Pulmoner

Sirkulasi pulmoner memiliki tekanan yang sangat rendah. Selama sistole, tekanan di arteri pulmonalis pada dasarnya sama dengan tekanan di ventrikel kanan, akan tetapi setelah katup pulmonalis menutup pada akhir sistole, maka tekanan ventrikel menurun seketika, sedangkan tekanan arteri pulmonalis menurun secara lambat sewaktu darah mengalir melalui kapiler paru.(West, 2012)(Grippi et al., 2015)

Tekanan sistolik arteri pulmonalis rata-rata 25 mmHg pada orang normal, sedangkan tekanan diastolik arteri pulmonalis kira-kira 8 mmHg dan tekanan arteri pulmonal rata-rata 15 mmHg. Tekanan arteri pulmonalis adalah berdenyut (pulsatile). Tekanan kapiler paru besarnya kira-kira 7 mmHg. Tekanan rata-rata aorta adalah 100 mmHg, yaitu 6 kali lebih tinggi dibanding tekanan arteri pulmonal. Tekanan di dalam atrium kanan dan kiri tidak jauh berbeda, pada atrium kanan adalah sebesar 2 mmHg dan pada atrium kiri sebesar 5 mmHg. Sehingga perbedaan tekanan keluar-

masuk antara sistem sirkulasi sistemik dan pulmonal adalah 98 mmHg pada sirkulasi sistemik dan 10 mmHg pada sirkulasi pulmonal.(West, 2012)



Gambar 3. Tekanan Sirkulasi Pulmoner dan Sistemik

Tekanan di Sekitar Pembuluh Darah Pulmoner

Pembuluh kapiler pulmoner hampir seluruhnya dilingkupi oleh gas. Terdapat lapisan epitel yang sangat tipis pada alveoli dan kapiler pulmoner menerima sedikit dorongan dari lapisan epitel alveoli ini akibatnya pembuluh kapiler pulmoner ini mudah untuk kolaps atau menggelembung tergantung tekanan yang berada di sekitar atau melingkupi pembuluh kapiler tersebut.(MG Levitzky, 2018; West, 2012)

Saat paru mengembang pembuluh darah pulmoner yang lebih besar yaitu pembuluh arteri dan vena terbuka karena terdapat gaya traksi radial dari jaringan elastik parenkim paru yang melingkupi pembuluh tersebut. Keadaan pertama adalah gambaran kapiler pulmonal yang terpengaruh oleh tekanan alveoli. Keadaan kedua adalah terbukanya pembuluh arteri dan vena oleh traksi radial yang melingkupi parenkim paru.(MG Levitzky, 2018; West, 2012)

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sirkulasi Pulmoner

Berisi Regulasi Aliran Darah Paru

Pada keadaan normal terdapat lebih-kurang 10% total darah yang mengalir di paru. Regulasi aliran darah pulmonalis dipengaruhi oleh resistensi vaskular, volume paru dan heterogenitas. Hubungan aliran darah, tekanan dan resistensi terkenal dengan hukum ohm's. Volume paru akan memengaruhi aliran darah dengan viskositas darah turun maka kecepatan naik bila diameter pembuluh darah kurang dari 1,5 mm, maka viskositas darah turun. Pada pembuluh darah kecil dimana darah mengalir lambat, jika kecepatan aliran darah turun maka viskositas naik bila diameter pembuluh darah kurang dari 1,5 mm, maka viskositas darah turun.(Rasmin et al., 2017)

Resistensi Vaskular Pulmoner

Aliran darah melalui sirkulasi pulmoner pada dasarnya sama dengan aliran darah melalui sirkulasi sistemik, namun penurunan tekanan di sirkulasi pulmoner hanya sepersepuluh dari aliran darah sistemik. Oleh karena itu, resistensi vaskular pulmoner adalah sepersepuluh dari resistensi sistemik. Situs utama resistensi vaskular pulmoner adalah arterioler dan kapiler.(Netter, 2011)

Jumlah otot polos vaskuler yang relatif sedikit, tekanan intravaskuler yang rendah, dan distensibilitas yang tinggi dari sirkulasi pulmonal menyebabkan lebih pentingnya efek ekstravaskuler ("faktor pasif") pada resistensi vaskular pulmoner (MG Levitzky, 2018)

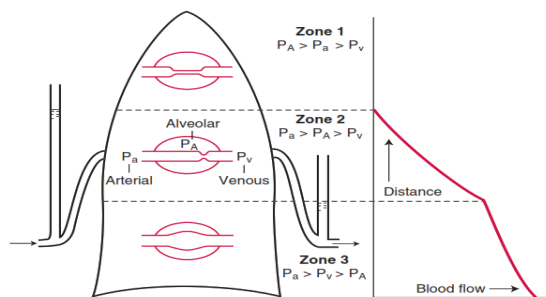
Otot polos pembuluh darah pulmonal responsif terhadap pengaruh saraf dan humoral. Ini menghasilkan perubahan "aktif" di RVP, sebagai lawan dari faktor "pasif". Stimulasi persarafan parasimpatis pembuluh paru umumnya menyebabkan vasodilatasi, walaupun fungsi fisiologisnya tidak diketahui.(MG Levitzky, 2018)

Tabel 1. Pengaruh Aktif Resistensi Vaskular Pulmoner

Meningkat	Menurun
Stimulasi inervasi simpatis	Stimulasi saraf parasimpatis
Norepinefrin, epinefrin	Asetilkolin
α - Adrenergic agonist	β - Adrenergic agonist
PGF ₂ , PGE ₂	PGE ₁
Thromboxane	Prostacyclin
Endotelin	Nitic Oxide
Angiotensin	Bradikinin
Histamin	
Hipoksia alveolar	
Hiperkapnia alveolar	
pH rendah pada darah vena campuran	

Distribusi Regional Aliran Darah Paru

Topografi distribusi darah di paru dapat diketahui dengan menggunakan zat radioaktif. Metodenya dengan ¹¹³mXe dilarutkan dalam saline kemudian diinjeksikan ke vena perifer. Distribusi zat radioaktif yang larut ini akan dilihat dengan menggunakan kamera gamma. Hasilnya dipengaruhi oleh posisi, pada saat posisi supine distribusi darah di apex relatif sama dengan di basal dan hal ini akan berbeda jika posisi erect dimana apex relatif kurang dibandingkan basal. (Naeije, 2013; Prisk, 2011)



Gambar 4. Distribusi Aliran Darah Paru

SIMPULAN

Sirkulasi pulmoner memiliki sifat yang berbeda dengan sirkulasi sistemik baik dalam anatomi, histologi, maupun fungsinya. Suplai darah dari paru berasal dari dua sistem arteri yang berbeda yaitu arteri pulmoner dan arteri bronkial yang masing-masing berasal dari sisi jantung yang berlainan.

Fungsi penting dari sirkulasi pulmoner adalah mengatarkan darah dari dan ke alveoli terjadi proses pertukaran gas. Fungsi penting lainnya adalah sebagai tempat resevoir atau penampungan darah. Resistensi vaskular pulmonal dapat dipengaruhi secara pasif seperti gravitasi, posisi tubuh, dan volume paru maupun secara aktif melalui pengaturan tonus otot polos pembuluh darah pulmoner.

REFERENSI

- Grippi, M., Elias, J., Fishman, J., Kotlof, R., Pack, A., & Senior, R. (2015). *Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders* (5th ed.). Mc Graw Hill.
- Guyton AC, H. J. (2016). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology* (13th ed.). Elsevier Ltd.
- Kacmareck, R. M. (2017). *Egan's Fundamentals of Respiratory Care* (R. H. K. Robert L. Chatburn (ed.); 11th ed.). Elsevier Ltd.
- Lumb, A., & Pearl, R. (2017). *Nunn's Applied Respiratory Physiology* (8th ed.). Elsevier Ltd.
- MG Levitzky. (2018). *Pulmonary Physiology* (9th ed.).
- Murray, J. (2016). *Murray & Nadel's Textbook of Respiratory Medicine* (9th ed.). Elsevier Ltd.
- Naeije, R. (2013). Physiology of the pulmonary circulation and the right heart. *Current Hypertension Reports*, 15(6), 623–631.

- <https://doi.org/10.1007/s11906-013-0396-6>
- Naeije, R., & Chesler, N. (2012). Pulmonary circulation at exercise. *Comprehensive Physiology*, 2(1), 711–741. <https://doi.org/10.1002/cphy.c100091>
- Netter, F. (2011). *The Netter Collection of Medical Illustrations: Respiratory System* (2nd ed.).
- Prisk, G. K. (2011). Pulmonary circulation in extreme environments. *Comprehensive Physiology*, 1(1), 319–338. <https://doi.org/10.1002/cphy.c090006>
- Rasmin, M., Jusuf, A., Amin, A., Taufik, Nawas, M., Yunus, F., & Al, E. (2017). *Buku Ajar Pulmonologi dan Kedokteran Respirasi* (M. Rasmin (ed.); 1st ed.). UI-Press.
- Sharara, R. S., Hattab, Y., Patel, K., Disilvio, B., Singh, A. C., & Malik, K. (2017). Introduction to the anatomy and physiology of pulmonary circulation. *Critical Care Quarterly*, 40(3), 181–190. <https://doi.org/10.1097/CNQ.0000000000000157>
- Smith, L., Jennifer, Q., & Brown, J. (2015). *Eureka Respiratory Medicine* (1st ed.).
- Suresh, K., & Shimoda, L. A. (2016). Lung circulation. *Comprehensive Physiology*, 6(2), 897–943. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140049>
- West, J. (2012). *Respiratory Physiology* (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.