

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingkat kemakmuran dan kesehatan suatu bangsa akan meningkat sebagai hasil dari kemajuan teknologi saat ini, dengan berbagai penemuan medis dan teknologi canggih menyebabkan usia harapan hidup suatu negara akan meningkat, dan jumlah lanjut usia (lansia) di negara tersebut juga akan meningkat. Semua manusia pasti mengalami proses penuaan karena berkurangnya fungsi organ tubuh, mulai dari otot, pembuluh darah, hingga organ dalam lainnya (Pilotto, Boi and Petermans, 2018).

Menurut Undang-Undang Nomor 13 Tahun 1998, seseorang dikatakan lansia apabila telah mencapai usia 60 (enam puluh) tahun atau lebih. Populasi lansia masih terus bertambah seiring dengan kemajuan medis. Hal ini ditandai dengan usia harapan hidup yang lebih panjang dan tingkat kematian yang lebih rendah (Badan Pusat statistik, 2020). Menurut World Population Prospects (1950-2050), proporsi lansia di negara berkembang meningkat lebih cepat dibandingkan dengan negara maju. Diperkirakan pada tahun 2020, 70% populasi lansia di dunia akan berada di negara berkembang dengan jumlah absolut melebihi 470 juta yang merupakan dua kali lipat dari jumlah negara maju (Amarya, Singh and Sabharwal, 2018). Jumlah lansia di Indonesia meningkat sekitar dua kali lipat dalam hampir 50 tahun terakhir (1971-2020), mencapai 9,92 persen (26 juta), dengan jumlah lansia perempuan lebih banyak satu persen dibandingkan lansia laki-laki (10,43 persen berbanding 9,42 persen). Data Sulawesi Selatan menunjukkan 9,86% dari penduduk merupakan populasi lansia (Badan Pusat statistik, 2020).

Dari sisi kesehatan masih ada sekitar separuh lansia yang mengalami keluhan kesehatan selama sebulan terakhir. Angka kesakitan lansia cenderung menurun setiap tahun. Pada tahun 2020, sekitar 24 dari 100 lansia sakit dalam sebulan terakhir. Mayoritas lansia mengobati keluhan kesehatannya, baik dengan mengobati sendiri maupun berobat jalan (96,12 persen) (Badan Pusat statistik, 2020) sehingga penting untuk melakukan upaya preventif sebelum terjadinya sakit.



Penurunan ini dikaitkan dengan perubahan signifikan pada struktur dan fungsi pembuluh darah yang sehingga membuat orang yang lebih tua lebih rentan terhadap penyakit kardiovaskular, morbiditas dan mortalitas. Penuaan pada jantung dikaitkan dengan *remodelling* ventrikel kiri disertai disfungsi miokard

sistolik dan diastolik, serta berkurangnya sensitivitas terhadap rangsangan simpatis yang mengganggu kontraktilitas miokard dan kemampuan pemompaan pada orang lansia. *Remodelling* pada pembuluh darah juga dikaitkan dengan peningkatan ketebalan dinding arteri, kekakuan arteri, dan gangguan vasoreaktivitas endotel (Jakovljevic, 2018).

Selain penuaan berdampak pada kardiovaskular, penuaan juga mempengaruhi sistem respirasi. Sistem respirasi mengalami berbagai perubahan baik secara anatomis, fisiologis dan imunologis seiring bertambahnya usia. Perubahan struktural seperti kelainan bentuk dinding dada dan vertebral thorakal yang mengubah komplians dari sistem pernapasan secara keseluruhan sehingga meningkatkan kerja pernapasan. Parenkim paru akan kehilangan struktur pendukungnya yang menyebabkan pelebaran ruang udara yang dikenal dengan *emfisema senilis*. Kekuatan otot pernapasan menurun seiring bertambahnya usia dan dapat mengganggu batuk yang efektif, yang penting untuk membersihkan jalan napas. Pasien lansia akan kurang merespon pada obat-obat yang ada. Selain itu, terjadi penurunan sensasi dispnea dan berkurangnya respons ventilasi terhadap hipoksia dan hiperkapnia, sehingga membuat pasien lansia lebih rentan terhadap kegagalan ventilasi selama kondisi gagal jantung ataupun pneumonia (Sharma and Goodwin, 2006).

Penelitian di panti jompo di Bandung menunjukkan bahwa fungsi kardiorespirasi pada lansia sekitar 63,6% buruk (Arshintia *et al.*, 2018). Pemahaman tentang perubahan kardiorespirasi terkait usia diperlukan untuk melakukan pencegahan dan pengobatan penyakit kardiovaskular yang efektif dan efisien pada orang lansia. Selama tiga dekade penelitian intensif sebelumnya dalam penuaan kardiorespirasi, tampak jelas bahwa faktor gaya hidup seperti aktivitas fisik dan olahraga memainkan peran penting dalam mengurangi penurunan fungsi kardiovaskular seiring dengan bertambahnya usia (Jakovljevic, 2018). Penelitian metaanalisis *exercise resistance* dapat memperbaiki pada fungsi kardiorespirasi meliputi dari *VO₂ peak*, *aerobic threshold (AT)*, *6-minute walking distance test (6MWT)* (Smart *et al.*, 2022). Salah satu dari perkembangan dari *physical exercise* menggunakan *exergaming* sebagai inovasi agar minat dari lansia lebih tinggi.



populasi lansia, persepsian latihan yang tepat perlu dipertimbangkan karena adanya penurunan fungsi faal pada populasi tersebut. Latihan aerobik yang didasarkan dalam durasi 150 menit dengan intensitas sedang (jalan cepat)

atau 75 menit aktivitas aerobik intensitas berat (berlari) setiap minggunya. Durasi latihan juga dapat dibagi menjadi beberapa latihan dengan minimal waktu latihan 10 menit setiap kali, agar total waktu latihan dapat tercapai per minggunya (Carolyn Kisner, Lynn Allen Colby, 2018).

"*Exergaming*", istilah yang diciptakan untuk menggabungkan latihan dan *gaming* (video game) dan semakin populer dalam beberapa dekade terakhir, terutama dengan sistem seperti *Dance Revolution*, *Wii Fit*, dan *Xbox 360 Kinect*. Dengan menggabungkan aspek kompetitif dan kenikmatan dalam bermain video game dengan aktivitas fisik, sistem *exergaming* dapat mengurangi rasa lelah dan meningkatkan motivasi sambil mempertahankan tingkat pengeluaran energi yang tinggi (Bronner *et al.*, 2016). *Exergaming* juga menggabungkan *elemen immersive virtual reality* (IVR) untuk lebih meningkatkan pengalaman pengguna (Faric *et al.*, 2019). Teknologi yang baru lahir ini menghasilkan ruang 3D melalui sensor tubuh yang terpasang ditambah tampilan yang dipasang di kepala yang memerlukan penglihatan stereoskopis dan bidang pandang yang luas, memungkinkan partisipan untuk berinteraksi dan 'tenggelam' dalam lingkungan *virtual* secara *real-time*, dan menciptakan umpan balik. Penggunaan *virtual reality* (VR) dalam olahraga telah menunjukkan kemampuan untuk mendapatkan kebutuhan fisiologis dan metabolisme yang lebih besar sambil mempertahankan atau bahkan meminimalkan pengexerahan tenaga yang dirasakan oleh pengguna sehingga cocok bagi populasi lansia (Mologne *et al.*, 2023).

Penelitian sebelumnya menemukan bahwa *exergame* pada populasi lansia efektif dalam meningkatkan keseimbangan, memperbaiki gait, serta membantu meningkat fungsi kognitif termasuk fungsi eksekutif, pemrosesan atensi, dan keterampilan visuospasial. Efek positif dari permainan olahraga pada fungsi fisik dan kognitif membuat *exergame* menjadi intervensi potensial untuk pencegahan jatuh. Namun penelitian yang terkait fungsi kardiorespirasi masih kurang ditelaah lebih jauh (Carolyn Kisner, Lynn Allen Colby, 2018).

Studi yang ada menunjukkan bahwa sampel lebih memilih untuk melakukan *exergame* ini daripada berolahraga dengan *treadmil* bahkan pada intensitas latihan yang lebih tinggi menggunakan *exergame*, subjek menganggap *exergame* lebih intens dan lebih menyenangkan (McDonough *et al.*, 2018). Penelitian tentang *exergame* pada pasien gagal jantung telah dikaitkan dengan manfaat yang signifikan dalam pengeluaran energi dan kapasitas fungsional yang menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat digunakan (Jaarsma *et*



al., 2015). *Exergame* juga menunjukkan potensi yang sangat besar dalam kepatuhan latihan pasien di rumah (Mologne *et al.*, 2023). Hasil *systematic review* dari Cordon *et al* pada sampel dengan penyakit respirasi dengan menggunakan intervensi VR sebagai olahraga menemukan bahwa tidak ada efek samping yang berarti pada sebagian besar penelitian, namun ada studi yang menyebutkan bahwa *heart rate* (HR) pada sampel melebihi dari batas maksimal dan kekakuan pada otot. Namun hasil metanalisis pada penelitian ini menunjukkan hasil yang efek yang kurang pada HR rerata, *peak* HR, dan saturasi oksigen serta efek yang *moderate* pada tingkat sesak jika dibandingkan dengan olahraga tradisional (Condon *et al.*, 2020).

Latihan memiliki beberapa mekanisme dalam memperbaiki fungsi kardiorespirasi. Latihan dapat menginduksi adaptasi pada beberapa jenis sel dan jaringan di seluruh tubuh. Latihan meningkatkan biogenesis mitokondria pada adiposit, miosit otot rangka, dan kardiomyosit, sehingga meningkatkan fungsi respirasi aerobik di dalam jaringan ini. Selain itu, latihan meningkatkan transportasi oksigen ke seluruh tubuh melalui vasodilatasi dan angiogenesis, sehingga memberikan perlindungan dari cedera reperfusi iskemia di jantung. Latihan menyebabkan efek antiinflamasi jangka panjang yang berbanding terbalik dengan peningkatan inflamasi yang biasanya terlihat pada fungsi kardiovaskular dan obesitas (Pinckard, Baskin and Stanford, 2019). Sedangkan pada fungsi respirasi, latihan meningkatkan respons imunitas, modulasi respons inflamasi dengan menurunkan proinflamasi dan meningkatkan antiinflamasi, dan mempercepat interaksi antara nervus vagus dan saraf simpatis untuk meningkatkan pertukaran gas (Xiong *et al.*, 2023).

Penelitian mengenai *exergame* pada lansia telah banyak dilakukan baik sebagai alternatif olahraga sebagai intervensi rehabilitasi pada pasien post stroke, Parkinson ataupun mencegah jatuh pada populasi yang imbalans (Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes and Cancela-Carral, 2021; Zahedian-Nasab *et al.*, 2021) namun belum ada yang membahas secara spesifik efektivitas intervensi ini dengan fungsi kardiorespirasi. Oleh sebab itu karena adanya keterbatasan data, peneliti tertarik untuk meneliti efektivitas VR *exergame* terhadap fungsi kardiorespirasi pada lansia.



1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana efektivitas *virtual reality exergame* terhadap fungsi kardiorespirasi pada lansia?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan umum

Mengetahui efektivitas *virtual reality exergame* terhadap fungsi kardiorespirasi pada lansia.

1.3.2 Tujuan khusus

1. Mengetahui perbedaan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap fungsi kardiovaskular (*heart rate*, dan tekanan darah) pada lansia.
2. Mengetahui perbedaan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap fungsi respirasi (*respiration rate*, *peak expiratory flow rate* dan *peak cough flow rate*) pada lansia.
3. Mengetahui perbedaan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap prediksi $VO_2\text{max}$ berdasarkan jarak tempuh pada uji jalan enam menit pada lansia.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat teoritis

- a. Menambah pengetahuan terkait efektivitas latihan *virtual reality exergame* terhadap fungsi kardiorespirasi pada populasi lansia.
- b. Menjadi dasar teori dalam pembuatan panduan klinis khususnya dalam persepan latihan pada rehabilitasi lansia.



1.4.2 Manfaat metodologik

- a. Mengetahui efektivitas latihan menggunakan *virtual reality exergame* pada populasi lansia terhadap fungsi kardiorespirasi melalui penelitian eksperimental dengan desain *randomized controlled trial-single blind*.
- b. Menjadi data demografi kapasitas fungsi kardiorespirasi lansia di Kota Makassar.

1.4.3 Manfaat aplikatif

- a. Menjadi acuan untuk pengembangan program latihan fisik menggunakan *virtual reality exergame* pada populasi lansia.
- b. Menjadi pertimbangan dalam pembentukan program regional di komunitas lansia terkait kesehatan kardiorespirasi lansia.
- c. Menjadi acuan dalam pengambilan kebijakan pada populasi lansia di Kota Makassar untuk meningkatkan kesehatan dan menunjang kualitas hidup yang lebih produktif.
- d. Menjadi acuan untuk membuka layanan unggulan *exergame* di bidang Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi, sekaligus mendukung pilar kesehatan pada transformasi layanan primer terkait edukasi mengenai olahraga.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lanjut Usia

Sejalan dengan prediksi WHO mengenai tren peningkatan jumlah lansia di berbagai negara di dunia, Indonesia termasuk salah satu negara yang menghadapi kecenderungan tersebut. Badan Pusat Statistik merilis data jumlah lansia berdasarkan hasil Survei Penduduk Antar Sensus Tahun 2016 diperkirakan jumlah lansia (usia 60 tahun ke atas) di Indonesia sebanyak 22.630.882 jiwa. Angka ini diperkirakan akan meningkat menjadi 31.320.066 jiwa pada tahun 2022 (Kementerian Kesehatan RI, 2016).

Proses penuaan sebagai akumulasi dari kerusakan pada tingkat seluler dan molekuler yang terjadi dalam waktu yang lama seringkali dikaitkan dengan kejadian penyakit tidak menular. Berbagai studi telah menunjukkan usia merupakan salah satu faktor risiko penyakit tidak menular (Kementerian Kesehatan RI, 2016).

Menurut Undang-Undang Nomor 13 Tahun 1998, seseorang dikatakan lansia apabila telah mencapai usia 60 (enam puluh) tahun atau lebih. Populasi lansia masih terus bertambah seiring dengan kemajuan medis. Hal ini ditandai dengan usia harapan hidup yang lebih panjang dan tingkat kematian yang lebih rendah (Badan Pusat statistik, 2020). Menurut *World Population Prospects* (1950-2050), proporsi lansia di negara berkembang meningkat lebih cepat dibandingkan dengan negara maju. Diperkirakan pada tahun 2020, 70% populasi lansia di dunia akan berada di negara berkembang dengan jumlah absolut melebihi 470 juta yang merupakan dua kali lipat dari jumlah negara maju (Amarya, Singh and Sabharwal, 2018). Jumlah lansia di Indonesia meningkat sekitar dua kali lipat dalam hampir 50 tahun terakhir (1971-2020), mencapai 9,92 persen (26 juta), dengan jumlah lansia perempuan lebih banyak satu persen dibandingkan lansia laki-laki (10,43 persen berbanding 9,42 persen). Data Sulawesi Selatan menunjukkan 9,86% dari penduduk merupakan populasi lansia (Badan Pusat statistik, 2020).



2.2 Proses Penuaan Pada Sistem Kardiorespirasi

2.2.1 Penuaan pada sistem kardiovaskular

Populasi lansia cenderung memiliki tekanan darah yang lebih tinggi, denyut jantung dan fraksi ejeksi yang serupa, dan volume diastolik akhir ventrikel kiri, stroke volume, dan curah jantung lebih rendah dibandingkan dengan populasi yang lebih muda (Tabel 1). Penuaan pada sistem kardiovaskular ini disebabkan oleh perubahan pada jaringan ikat. Jaringan ikat menjadi kaku di dalam arteri, vena, dan miokardium, menyebabkan pembuluh darah menjadi kurang elastis. Kekakuan ini akibat dari berhentinya produksi elastin pada dekade ke-4 kehidupan. Selain itu, pergantian kolagen yang lambat, dan baik elastin maupun protein kolagen mengakumulasi kerusakan akibat radikal bebas dari waktu ke waktu. Ketika elastin rusak, elastin akan digantikan oleh protein kolagen yang kurang fleksibel (Alvis and Hughes, 2015).

Kekakuan pada arteri menyebabkan hipertensi sistolik, gangguan impedansi, dan hipertrofi miokard. Kekakuan pada aorta menyebabkan peningkatan tekanan darah sistolik dan penurunan tekanan diastolik. Tekanan diastolik yang berkurang menyebabkan penurunan aliran darah koroner. Pada keadaan normal, sebagian besar stroke volume terdapat di dalam aorta torakal. Dengan demikian, afterload ventrikel kiri yang meningkat secara kronis menyebabkan penebalan ventrikel kiri. Terdapat juga peningkatan impedansi antara penurunan kekuatan kontraksi miokard dan peningkatan tekanan di dalam aorta. Karena impedansi yang buruk menjadi stimulus signifikan untuk terjadinya hipertrofi miokardium (Alvis and Hughes, 2015).

Kombinasi hipertrofi miosit dan peningkatan *afterload* ventrikel kiri memperpanjang durasi kontraksi miokard. Kontraksi yang semakin lama ini menyebabkan penundaan relaksasi ventrikel dan menurunkan tingkat pengisian diastolik awal sekitar 50% antara dekade ke-2 dan ke-8. Volume diastolik akhir (EDV) dipertahankan dengan adanya pengisian diastolik akhir oleh kontraksi dari atrium. Kekakuan dan hipertrofi miokard ventrikel akan meningkatkan kerentanan terhadap gagal jantung diastolik (Alvis and Hughes, 2015).



kekakuan pada vena seiring bertambahnya usia akan mengurangi kemampuan untuk mempertahankan perubahan volume darah dan distribusi darah. Sekitar 80% volume darah disimpan dalam jaringan vena. Oleh karena itu,

reservoir ini penting dalam mempertahankan *preload* yang stabil ke jantung, dan kekakuan pada vena akan mengganggu kemampuan untuk menjaga *preload* tetap konstan (Alvis and Hughes, 2015).

Penuaan juga menyebabkan peningkatan aktivitas sistem saraf simpatis dan kadar norepinefrin yang bersirkulasi lebih tinggi, yang berakibat pada penyempitan arteriol dan peningkatan resistensi pembuluh darah sistemik (Alvis and Hughes, 2015).

Reseptor beta miokardium juga terpengaruh seiring bertambahnya usia. Respons reseptor terhadap stimulasi berkurang, mengakibatkan penurunan denyut jantung dan respons kontraktile terhadap hipotensi, olahraga, dan katekolamin. Perubahan lain pada sistem kardiovaskular meliputi berkurangnya stimulasi barorefleks, tonus saraf vagal yang lebih rendah, dan berkurangnya ekstraksi oksigen. Sistem barorefleks yang terganggu dan tonus vagal mengakibatkan berkurangnya variabilitas denyut jantung dan kemampuan untuk mengontrol curah jantung yang konstan (Alvis and Hughes, 2015).

Disfungsi endotel merupakan teori utama untuk mekanisme penuaan pembuluh darah. Fungsi endotel, yakni meliputi pelepasan oksida nitrat, memiliki sifat vasoprotektif dan kardioprotektif karena penghambatan agregasi trombosit dan adhesi sel inflamasi pada sel endotel, gangguan sitokin proinflamasi, penghambatan apoptosis, dan regulasi metabolisme energi jaringan (Alvis and Hughes, 2015).

Tabel 1 Perubahan pada sistem kardiovaskular akibat penuaan (Alvis and Hughes, 2015)

Changes with age of the cardiovascular system			
Cardiac changes		Vascular changes	
Heart weight	▲	Arterial wall thickness	▲
Cardiomyocyte number	▼	Elastin	▼
Collagen cross-linking	▲	Elastin fragmentation	▲
Early diastolic filling	▼	Arterial distensibility	▼
End-diastolic filling	▲	Pulse wave velocity	▲
Chronotropic responsiveness to beta-agonists	▼	Total peripheral resistance	▲
Inotropic responsiveness to beta-agonists	▼	Endothelial function	▼
▲augmented;▼ diminished			

2.2.2 Penuaan pada sistem respirasi



Perubahan seiring penuaan meliputi perubahan sifat mekanik sistem pernapasan, penurunan saturasi oksihemoglobin arteri, dan gangguan respons hipoksia (Tabel 2).

Parenkim paru mengalami perubahan struktural yang signifikan seiring dengan penuaan, terutama berkurangnya jumlah dan ikatan silang serat elastis yang mengakibatkan berkurangnya daya elastis. Hal ini menciptakan gaya ke dalam yang mendorong penurunan volume paru dengan laju rata-rata antara 0,1-0,2 cm H₂O per tahun, dan penurunan ini paling terasa setelah dekade ke-5. Pembesaran ruang udara yang homogen juga menyebabkan penurunan luas permukaan alveolar dari 75 m² menjadi 30-60 cm² pada usia 70 tahun, yang meningkatkan komplians paru (Alvis and Hughes, 2015).

Pada lansia, penurunan tinggi vertebra thorakalis yang dikaitkan dengan osteoporosis menyebabkan restriksi pada paru. Selain itu, pengurangan massa otot-otot pernapasan dapat berkontribusi pada penurunan gaya yang dihasilkan oleh aktivitas otot pernapasan (Alvis and Hughes, 2015).

Dengan perubahan sifat jaringan ikat ini, terdapat perubahan signifikan pada mekanisme paru. Kapasitas residu fungsional meningkat 1-3% per dekade. Volume residu meningkat 5-10% per dekade. Karena total kapasitas paru tetap tidak berubah, maka terjadi penurunan kapasitas vital. Penurunan cadangan fisiologis ini meningkatkan kerentanan pasien lansia terhadap infeksi dan penurunan fungsi paru. Setelah usia 20 tahun, kapasitas vital akan menurun dari 25% hingga 40% pada usia 70 tahun. Terdapat penurunan progresif pada kapasitas vital paksa (14-30 mL per tahun) dan volume ekspirasi paksa dalam satu detik (23-32 mL per tahun). Pada usia 65 tahun, terjadi penurunan FEV₁ sekitar 38 mL per tahun. Perubahan-perubahan ini dapat membuat rasio FEV₁/FVC normal menjadi berkurang menjadi 55% pada lansia (Alvis and Hughes, 2015).

Penuaan juga mempengaruhi sifat pertukaran gas. Oksigenasi arteri secara bertahap menurun seiring dengan penuaan, kemungkinan disebabkan oleh peningkatan heterogenitas ventilasi/perfusi yang disebabkan oleh penurunan luas permukaan alveolar dan penutupan dini saluran napas kecil. Terdapat penurunan sekitar 50% dalam respons terhadap hipoksia dan hiperkapnia serta penurunan kapasitas difusi paru. Peningkatan ventilasi sering kali diperlukan untuk mengimbangi penurunan efisiensi pertukaran gas ini (Alvis and Hughes, 2015).

Bersamaan dengan perubahan-perubahan pada paru ini, terdapat perubahan penting yang terlihat pada saluran napas bagian atas. Hilangnya otot faring membuat lansia lebih rentan terhadap obstruksi saluran atas. Terdapat juga penurunan upaya pernapasan sebagai respons oklusi saluran napas atas. Mekanisme protektif batuk dan menelan juga



berkurang seiring berjalannya waktu, sehingga membuat individu lansia lebih berisiko mengalami aspirasi. Dugaan penjelasan atas perubahan-perubahan ini termasuk diferensiasi perifer bersamaan dengan penurunan aktivitas refleks sistem saraf pusat (Alvis and Hughes, 2015).

Dalam menganalisis fungsi sistem respirasi, terdapat beberapa modalitas yang dapat digunakan seperti dari keluhan pasien, pemeriksaan fisik, pencitraan dan pemeriksaan tambahan (Watchie, 2010). Spirometri merupakan alat baku emas untuk menghitung kapasitas fungsional paru, namun alat ini sulit dimiliki di rumah pasien, sehingga untuk dapat memonitoring per harian dapat digunakan parameter *peak expiratory flow rate* (PEFR) dan *peak cough flow rate* (PCFR) menggunakan alat *peak flow meter*. *Peak flow* merupakan laju maksimal saat melakukan ekspirasi secara paksa sedangkan *peak cough flow* merupakan laju maksimal udara saat batuk (Devrieze, Modi and Al, 2022). PEFR dan PCFR terbukti memiliki hubungan yang linier terhadap pemeriksaan FEV1 dan FVC pada spirometri sehingga berpotensi digunakan secara praktis untuk melakukan evaluasi berbagai penyakit terutama penyakit pada sistem respirasi (Gauld and Boynton, 2005; Roberts *et al.*, 2018; Brennan *et al.*, 2022).

Tabel 2 Perubahan pada sistem respirasi akibat penuaan (Alvis and Hughes, 2015)

Changes with age of the respiratory system		
Ventilation-perfusion mismatch	▲	Protective cough ▼
Chest wall rigidity	▲	Residual volume ▲
Respiratory muscle strength	▼	Vital capacity ▼
Work of breathing	▲	Closing volume ▲
Respiratory muscle endurance	▼	Gas exchange ▼
Functional alveolar surface area	▼	Response to hypoxemia and hypercapnia ▼
▲augmented;▼ diminished		

2.3 Dampak Penuaan dan Penyakit Pada Kardiorespirasi

Penuaan pada sistem respirasi dan kardiovaskular dapat mengganggu fungsi normal sistem transportasi oksigen. Pasien dengan gangguan neurologis, neuromuskuler, dan muskuloskeletal dapat memengaruhi toraks sehingga menghambat dapat pergerakan dinding toraks yaitu, ventilasi sehingga tidak pi kebutuhan oksigen dalam aktivitas sehari-hari. Pasien lansia dengan paru-paru, seperti pneumonia, edema paru, dan fibrosis paru, mengalami tidak hanya dalam menyalurkan udara yang cukup ke alveoli tetapi juga difusi oksigen dari alveoli ke dalam aliran darah, terutama selama



beraktivitas. Sebaliknya, pasien dengan asma dan penyakit paru obstruktif kronik, seperti emfisema dan bronkitis kronik, tidak terganggu pada fungsi inspirasi, akan tetapi terganggu saat ekspirasi dan menyebabkan udara yang terperangkap di saluran napas distal, sehingga mengganggu pertukaran gas yang efektif. Selain itu, pertukaran gas yang tidak normal dapat diakibatkan oleh aliran darah yang terhambat melalui kapiler paru, seperti pada emboli paru (Watchie, 2010).

Walaupun fungsi paru yang normal namun dengan fungsi jantung yang terganggu juga dapat membatasi pembawaan oksigen karena perubahan jumlah darah yang dapat dipompa oleh jantung terutama saat beraktivitas. Penyakit seperti aterosklerosis atau penyakit jaringan ikat memengaruhi patensi arteri juga dapat menghambat aliran darah ke otot yang aktif dan jaringan lainnya. Manifestasi klinis yang sering muncul seperti kelelahan, kelemahan, dan sesak napas sehingga semakin membatasi aktifitas fisik dari pasien (Watchie, 2010).

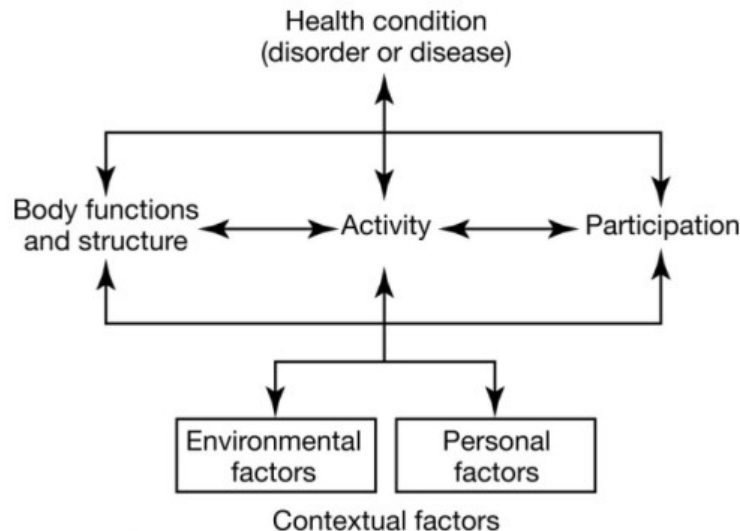
Gangguan pada paru akan meningkatkan kerja pernapasan dan mengganggu pertukaran gas, sementara kelainan pada sistem kardiovaskular membatasi pemompaan darah ke otot rangka dan jaringan sehingga gangguan pada kedua sistem ini menyebabkan sebagai intoleransi pada latihan, yang memiliki implikasi langsung terhadap intervensi terapi fisik. Pasien rehabilitasi bergantung pada fungsi kardiovaskular dan paru yang memadai untuk dapat berpartisipasi secara efektif dalam kegiatan rehabilitasi, dan penyakit pada kedua sistem ini sangat banyak di masyarakat, penilaian sistem kardiovaskular dan respirasi harus menjadi komponen penting dari setiap evaluasi terapi fisik. Pasien lansia meskipun belum didiagnosis dengan penyakit kardiovaskular atau paru tertentu, mungkin memiliki beberapa tingkat disfungsi oleh karena itu, ketiadaan diagnosis kardiopulmoner tidak boleh dianggap memiliki fungsi paru dan/atau kardiovaskular yang normal (Watchie, 2010).

2.4 Latihan dan Aktifitas Fisik Pada Lansia

Latihan merupakan intervensi yang terbaik untuk lansia yang dapat digunakan. Latihan secara simultan berdampak dalam kualitas hidup, instabilitas, dan kognisi, serta mencegah gejala sisa yang terkait kebiasaan hidup *sedentary*. Sentral dari aktivitas fisik dan latihan digambarkan *World Health Organization* (WHO) pada *International Classification of Functioning, Disability, and Health* (Gambar 1). Model WHO ini tidak hanya menjadikan aktivitas fisik



sebagai pusat, tetapi juga mempertimbangkan peran faktor lingkungan dan pribadi yang dapat menjadi hambatan bagi aktivitas fisik dan latihan (Avers and Wong, 2019).



Gambar 1 *International Classification of Functioning, Disability, and Health* oleh WHO (Avers and Wong, 2019)

Aktivitas fisik menurun seiring bertambahnya usia dan kejadian penyakit kronis meningkat seiring bertambahnya usia. Pada tahun 2014, hanya 12% orang berusia 65 tahun ke atas yang mengikuti dalam aktivitas aerobik dan *muscle-strengthening* di waktu senggang yang sesuai dengan pedoman aktivitas fisik federal tahun 2008, dengan persentase aktifitas fisik ini semakin seiring dengan bertambahnya usia. Pada tahun yang sama (2014), sekitar 60% lansia melaporkan setidaknya satu penyakit kronis dan 12% melaporkan lima penyakit kronis atau lebih (Avers and Wong, 2019).

Studi yang ada menunjukkan adanya hubungan antara volume aktivitas fisik dan risiko disabilitas. Penelitian juga menunjukkan korelasi langsung antara penurunan tingkat aktivitas fisik dan disabilitas dalam mobilitas serta berkurangnya kemampuan fungsional (Olaya *et al.*, 2018; Ryan *et al.*, 2018). Dokter rehabilitasi medik perlu mengenali perbedaan antara usia fisiologis dan penurunan kondisi fisik agar dapat mengimplementasikan resep latihan yang efektif dengan lebih baik.

Beberapa manfaat dari latihan yang terkait dengan kardiorespirasi:



- Menurunkan risiko kematian dini
- Menurunkan risiko penyakit jantung koroner
- Menurunkan risiko hipertensi

- Menurunkan risiko dislipidemia
- Menurunkan risiko diabetes tipe 2
- Menurunkan risiko sindrom metabolikFU
- Memperbaiki fungsi kardiorespirasi dan muscular fitness
- Memperbaiki *performance* dalam *Activities of Daily Living* (ADLs) and *Instrumental Activities of Daily Living* (IADLs)
- Menurunkan resiko obesitas sentral (Avers and Wong, 2019).

Latihan apa pun jenisnya telah terbukti aman dan efektif untuk lansia jika dengan pengawasan yang tepat. Dokter rehab medik harus mengetahui variabel ekstrinsik dan intrinsik yang dapat mempengaruhi respons latihan pada lansia. Sebagai contoh, ketika pasien mengeluhkan kelelahan yang berlebihan atau nyeri otot dan tidak tampak bertambah kuat sesuai walaupun telah mengikuti resep yang sesuai (Avers and Wong, 2019).

Karena sebagian besar lansia memiliki penyakit kronis dan menggunakan beberapa obat, serta homeostasis individu berkurang, sehingga efek samping dari latihan sering terjadi dan diperlukan pengamatan reaksi abnormal saat melakukan latihan (Avers and Wong, 2019).

Elemen dasar dari program latihan meliputi spesifitas dan *progressive overload*. Pada komponen spesifitas meliputi jenis kontraksi, kecepatan kontraksi, dan varitas. Pada komponen *progressive overload* terdapat parameter intensitas, durasi, frekuensi, istirahat, jenis kontraksi, kecepatan kontraksi, reversibilitas, dan varitas. Untuk memaksimalkan efektivitas, resep latihan harus bergantung individu masing – masing yang disesuaikan dengan target setiap orang (Avers and Wong, 2019).

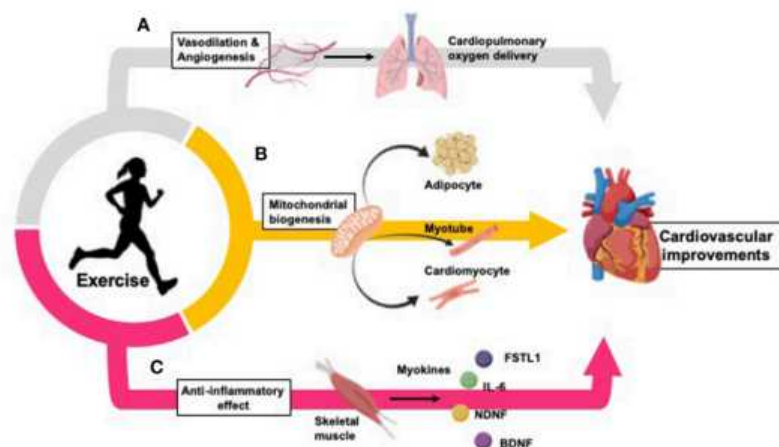
2.5 Latihan dan Mekanisme Perbaikan Fungsi Kardiorespirasi

Intervensi dengan latihan dapat mengurangi jaringan adiposa, menurunkan tekanan darah sistolik, diastolik, dan tekanan darah rerata-rata, serta menurunkan profil lipid kolesterol total dan kolesterol *low-density* lipoprotein (LDL). Kombinasi pengaturan pola makan dan latihan menyebabkan penurunan berat badan, kan lemak visceral, menurunkan trigliserida plasma, glukosa darah, darah, meningkatkan kadar HDL, perbaikan fungsi endotel serta atkan VO₂max (Pinckard, Baskin and Stanford, 2019).



Latihan aerobik dengan berbagai intensitas (dari 50 hingga 95% VO_2), dalam jangka waktu yang bervariasi (1-47 bulan) dapat mengurangi angka kematian terkait penyakit kardiovaskular, menurunkan risiko infark miokard, dan meningkatkan kualitas hidup (Heran *et al.*, 2016). Intervensi dengan rehabilitasi latihan aerobik pada pasien yang mengalami infark miokard akut selama 1 tahun setelah operasi intervensi koroner dapat meningkatkan fraksi ejeksi (60,81 vs 53% kelompok kontrol), peningkatan toleransi olahraga, dan penurunan faktor risiko kardiovaskular setelah 6 bulan memulai program rehabilitasi olahraga (Zhang *et al.*, 2018).

Latihan memiliki beberapa mekanisme dalam memperbaiki fungsi kardiorespirasi. Latihan dapat menginduksi adaptasi pada beberapa jenis sel dan jaringan di seluruh tubuh. Latihan meningkatkan biogenesis mitokondria pada adiposit, miosit otot rangka, dan kardiomyosit, sehingga meningkatkan fungsi respirasi aerobik di dalam jaringan ini. Selain itu, latihan meningkatkan transportasi oksigen ke seluruh tubuh melalui vasodilatasi dan angiogenesis, sehingga memberikan perlindungan dari cedera reperfusi iskemia di jantung. Latihan menyebabkan efek antiinflamasi jangka panjang yang berbanding terbalik dengan peningkatan inflamasi yang biasanya terlihat pada fungsi kardiovaskular dan obesitas. Myokinin yang dilepaskan dari otot rangka selama latihan fisik sebagian memediasi efek anti-inflamasi ini, dan meningkatkan komunikasi antar jaringan untuk memediasi manfaat kardiovaskular lebih lanjut (Pinckard, Baskin and Stanford, 2019).



Gambar 2 Mekanisme latihan memperbaiki fungsi kardiovaskular. (A) latihan meningkatkan transportasi oksigen ke seluruh tubuh melalui vasodilatasi dan angiogenesis. (B) Latihan juga meningkatkan biogenesis mitokondria dalam sel adiposit, otot skelet, dan kardiomyosit. (C) Latihan menyebabkan efek antiinflamasi jangka panjang. Myokinin yang dilepaskan dari otot rangka selama latihan fisik memediasi sebagian manfaat antiinflamasi ini, dan meningkatkan komunikasi antar jaringan untuk memediasi manfaat kardiovaskular (Pinckard, Baskin and Stanford, 2019).



Latihan juga dapat meningkat fungsi respirasi dengan berbagai mekanisme yakni meningkatkan toleransi latihan pasien, kekuatan otot, meningkatkan konsumsi oksigen maksimum, kontrol neurologis jantung, dan kualitas hidup. Latihan yang teratur dilaporkan dapat meningkatkan respons kekebalan tubuh pasien dan memodulasi respon inflamasi tubuh. Latihan aerobik dapat mencegah peningkatan makrofag, jumlah neutrofil dan eosinofil serta peningkatan yang signifikan sel T CD4+. Latihan terbukti menurunkan sitokin proinflamasi dan meningkatkan sitokin antiinflamasi. Selain itu, latihan dapat meningkatkan kekuatan otot perifer dan pernapasan, mengubah keseimbangan otonom, pembersihan mukosiliar dan mempercepat interaksi vagal dan simpatik dalam pertukaran oksigen dan karbondioksida di paru (Xiong *et al.*, 2023).

2.6 Latihan Aerobik Pada Lansia

Latihan aerobik dapat meningkatkan kapasitas tubuh untuk mengambil, menghantarkan, dan menggunakan oksigen. Program latihan ini ditujukan untuk meningkatkan kinerja kardiopulmoner diindikasikan untuk pasien yang tidak dapat mempertahankan aktivitas karena gangguan fungsi kardiopulmoner dan pembuluh darah. Sering kali, pasien tersebut memiliki keluhan kelelahan dengan tingkat latihan tertentu, dan dikaitkan dengan penyakit dan keadaan dekondisioning. Latihan intensitas sedang atau berat, dapat dilakukan untuk meningkatkan kapasitas aerobik, tetapi tampaknya semakin tinggi intensitasnya, semakin besar manfaatnya. *High Intensity-Interval Training* (HIIT) merupakan salah satu contoh bentuk latihan intensitas tinggi yang dapat dilakukan pada lansia. Latihan aerobik dengan intensitas rata-rata 66% hingga 73% *Heart Rate Reserve* (HRR) dengan 40 hingga 50 menit per sesi selama 3 hingga 4 hari/minggu selama 30 hingga 40 minggu secara efektif dan optimal untuk meningkatkan fungsi kardiopulmoner orang dewasa yang hidup *sedentary* (Huang *et al.*, 2016). Ambang batas minimum untuk agar dapat bermanfaat bergantung dari tingkat kebugaran, dengan minimal 45% cadangan pengambilan oksigen atau HRR (<11 ekuivalen metabolik [MET]) (Garber *et al.*, 2011; T.C. Liang, 2014). ACSM menyatakan bahwa stimulus olahraga sebesar 60% hingga 80% diperlukan untuk mencapai adaptasi kardiopulmoner (Huang *et al.*, 2016).

Aspek aktivitas fisik dengan intensitas sedang juga dapat diakumulasikan sesi olahraga selama ≥ 10 menit agar mencapai target harian ≥ 30



menit/hari (Garber *et al.*, 2011). Pada orang dengan *sedentary lifestyle* yang beraktifitas secara produktif selama 1 hingga 10 menit terbukti meningkatkan fungsi kardiopulmunar. Latihan singkat ini harus dilengkapi dengan frekuensi latihan yang lebih sering, dengan menerapkan prinsip *overload* dengan intensitas latihan aerobik akan meningkatkan kebugaran dan fungsi kardiorespirasi (Avers and Wong, 2019). Beberapa kontraindikasi relatif dan absolut serta kriteria menghentikan latihan tampak pada gambar.

Absolute Exercise Contraindications • Unstable angina • Uncontrolled cardiac dysrhythmias causing symptoms of hemodynamic compromise • Uncontrolled symptomatic heart failure • Acute or suspected major cardiovascular event (including severe aortic stenosis, pulmonary embolus or infarction, myocarditis, pericarditis, or dissecting aneurysm) • Acute systemic infection, accompanied by fever, body aches, or swollen lymph glands • A recent significant change in resting ECG suggestive of ischemia, myocardial infarction, or other acute cardiac event* Relative* Exercise Contraindications • Known significant cardiac disease (including left main coronary stenosis, moderate stenotic valvular disease, hypertrophic cardiomyopathy, high-degree atrioventricular block,* ventricular aneurysm) • Severe arterial hypertension (systolic BP of >200 mmHg or a diastolic BP of >110 mmHg) at rest • Tachydysrhythmia or bradydysrhythmia* • Electrolyte abnormalities • Uncontrolled metabolic disease • Chronic infectious disease • Mental or physical impairment leading to inability to exercise safely	Absolute Indications for Terminating Exercise • Drop in systolic BP of >10 mmHg from baseline despite an increase in workload when accompanied by other evidence of ischemia • Moderately severe angina (>2/4) • Increasing nervous system symptoms • Signs of poor perfusion • Subject's desire to stop • Technical difficulty with monitoring equipment • Sustained ventricular tachycardia* • ST elevation (+ 1.0 mm) in leads without diagnostic Q-waves* Relative Indications for Terminating Exercise • Drop in systolic BP of >10 mmHg from baseline despite an increase in workload in the absence of other evidence of ischemia • Increasing chest pain • Hypertensive response (systolic BP of >250 mmHg or diastolic BP of >115 mmHg) • Fatigue, shortness of breath/wheezing, leg cramps, or claudication • ST or QRS changes such as excessive ST depression (>2 mm ST-segment depression)* • Arrhythmias other than sustained ventricular tachycardia (including multifocal premature ventricular contractions (PVCs), triplets of PVCs, supraventricular tachycardia, heart blocks, or bradyarrhythmias)* • Development of bundle-branch block or intraventricular conduction delay that cannot be distinguished from ventricular tachycardia*
---	--

Gambar 3 Kriteria kontraindikasi latihan serta indikasi terminasi Latihan (Avers and Wong, 2019)

2.7 Virtual Reality Exergame

Tantangan yang signifikan dalam rehabilitasi lansia yakni bagaimana pasien lansia dapat berpartisipasi dan mengikuti program rehabilitasi atau aktivitas fisik secara penuh. Kepatuhan untuk rehabilitasi terjadi jika lansia tersebut termotivasi untuk berpartisipasi karena pengalaman positif yang mempertahankan minat dan sesuai dengan tingkat kenyamanan mereka. Dalam program ini, lansia akan diberikan pilihan dan menyesuaikan dengan kesukaan mereka sehingga akan meningkatkan faktor kepatuhan. Lansia akan lebih tertarik dengan sebuah latihan u dan memberi suatu tantangan namun perlu dipertimbangkan potensi atif dari latihan tersebut seperti rasa sakit, rasa malu, waktu, tenaga, dan amanan (Miller, Teychenne and Maple, 2018; Avers and Wong, 2019).



Aktivitas fisik yang menantang dapat memberdayakan para lansia saat mereka berhasil menghadapi tantangan baru. Kegiatan seperti menari dapat meningkatkan minat dan terbukti secara penelitian jika dilakukan secara berkelompok lebih baik hasilnya jika dibandingkan hanya latihan *jogging*. Musik dengan tempo yang sesuai juga menambah minat dan pengalaman positif pada program latihan dan meningkatkan partisipasi. Untuk meningkatkan keterlibatan, terapi, olahraga, dan aktivitas fisik harus berfokus pada kegiatan yang menyenangkan, berkelompok, dan sesuai untuk setiap pasien. Variasi pada program rehabilitasi berguna mengurangi kebosanan dan agar lansia tetap terlibat (Avers and Wong, 2019).

Berbagai teknologi digunakan untuk membantu permasalahan dalam latihan dan rehabilitasi fisik tersebut, yakni salah satunya dengan *exergame* (Shah *et al.*, 2022). *Exergaming* adalah bentuk permainan digital yang mengkombinasikan *video game* dan aktivitas fisik yang membutuhkan pergerakan fisik dari pemain dengan hasil yang ditentukan oleh upaya fisik pemain. Saat ini semakin banyak jenis *exergaming* dengan *console-based*. Permainan ini menawarkan teknologi dan *game* yang memungkinkan permainan dilakukan di dalam rumah. Selain itu sejumlah perangkat seluler, seperti ponsel, tablet, dan kontrol portabel memungkinkan bermain *game* di berbagai pengaturan yang berbeda dan menggunakan berbagai sensor untuk bermain. Platform permainan yang berbeda ini dapat digunakan, misalnya di komunitas dan publik seperti pusat medis, pusat kebugaran, tempat kerja, dan lingkungan sekolah. *Exergaming* terdiri dari *console-based exergaming* dikarakteristikan sebagai permainan yang dimainkan di depan televisi (termasuk *virtual reality headset*), sedangkan *mobile-based exergaming* dimainkan di area yang lebih besar (Hung *et al.*, 2014).

Pendekatan dengan menggunakan *game* dapat digunakan untuk mempromosikan latihan fisik di kalangan lansia, dan *exergame* dapat memotivasi dan sehingga memungkinkan pengguna lansia untuk berpartisipasi dalam permainan yang menyenangkan dan juga menantang secara fisik. Beberapa studi telah menunjukkan bagaimana *exergame* dapat mendukung kepatuhan dan motivasi berolahraga di kalangan lansia, yang berpotensi mengarah pada peningkatan kualitas hidup (Reis *et al.*, 2019).



Beberapa penelitian tentang *exergame* yang mendasarkan berbasis latihan fisik juga pada antarmuka 2D. Namun, *exergame* yang mengeksplorasi peran *virtual reality* (VR) masih belum banyak digunakan. Namun demikian, minat

terhadap pelatihan fisik berbasis VR untuk pengguna lansia mulai meningkat. Exergame berbasis VR membuat pengguna dalam lingkungan *virtual* tiga dimensi melalui tampilan yang dipasang di kepala. Gerakan pada tubuh akan disesuaikan dengan gerakan di ruang *virtual*, dan sebaliknya (Campo-Prieto, Rodríguez-Fuentes and Cancela-Carral, 2021). Sebuah studi (Piech dan Czernicki 2021) juga menunjukkan bahwa rehabilitasi berbasis VR dapat melengkapi metode fisioterapi konvensional (Piech and Czernicki, 2021a).

Beberapa aplikasi *exergaming* juga telah mengintegrasikan aspek sosial sehingga dapat memotivasi lansia untuk berpartisipasi dalam melakukan latihan. Salah satu penelitian mengeksplorasi peran motivasi sosialisasi teman sebaya dalam *exergame* melalui permainan kompetitif atau kolaboratif (Piech and Czernicki, 2021a).

Sebuah studi melaporkan dengan *exergaming* melalui VR dapat meningkatkan motivasi kepatuhan dan rasa senang setelah melakukan olahraga bersama walaupun bertemu secara *virtual* dengan teman sebayanya. VR *exergaming* juga dapat menyediakan beberapa *game* yang dianggap menantang dan dapat berintegrasikan dengan sosial yang terbukti dapat mengurangi tingkat depresi dan kesepian pada lansia (Høeg *et al.*, 2021; Shah *et al.*, 2022).

Penggunaan *head-mounted display* (HMD) pada VR dapat menyebabkan mabuk *cybersickness*. Istilah *cybersickness* merujuk pada pengalaman seperti mabuk perjalanan pada VR yang diinduksi secara visual. Gejala umum yang sering terjadi akibat *cybersickness* yakni mual, ketidaknyamanan visual, dan disorientasi. *Cybersickness* membatasi penggunaan VR dan berbagai teori yang ada mengenai penyebabnya. Sebuah penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa 80% orang menunjukkan gejala *cybersickness* dalam waktu 10 menit setelah menggunakan teknologi VR (Oh and Son, 2022).

Cybersickness yang diinduksi secara visual di lingkungan buatan (misalnya, tampilan 3D stereoskopis dan VR berbasis proyeksi) bukan karena gerakan fisik dan gangguan eksternal, melainkan dipicu sebagian besar oleh paparan gerakan visual. Terdapat faktor-faktor yang dikaitkan dengan *cybersickness* seperti pergerakan kamera, meliputi rotasi, translasi, kecepatan navigasi, dan akselerasi. Selain itu usia dan kerentanan untuk mabuk juga menjadi faktor yang berpengaruh (Oh and Son, 2022).



2.8 *Virtual Reality Exergame* dan Fungsi Kardiorespirasi Pada Lansia

Salah satu penelitian di Taiwan pada paruh baya dengan Xbox Kinect tiga kali per minggu, dengan rata-rata 50 menit per sesi selama 10 minggu. Setelah 10 minggu pelatihan, kelompok intervensi menunjukkan peningkatan yang signifikan pada fungsi kardiopulmuner yakni pada parameter 6MWT dan kekuatan otot kaki (Yu *et al.*, 2020). Penelitian penggunaan VR *exergame* pada pasien gagal jantung (HF) telah dikaitkan dengan peningkatan yang signifikan dalam pengeluaran energi dan kapasitas fungsional 6MWT yang menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat digunakan (Jaarsma *et al.*, 2015).

Hasil *systematic review* dari Cordon *et al* pada sampel dengan penyakit respirasi dengan menggunakan intervensi VR sebagai olahraga menemukan bahwa tidak efek samping yang berarti pada sebagian besar penelitian, namun ada studi yang menyebutkan bahwa HR pada sampel melebihi dari batas maksimal dan kekakuan pada otot. Namun hasil metanalisis pada penelitian ini menunjukkan hasil yang efek yang kurang pada HR rerata, *peak* HR, dan saturasi oksigen serta efek yang *moderate* pada tingkat sesak jika dibandingkan dengan olahraga tradisional (Condon *et al.*, 2020).

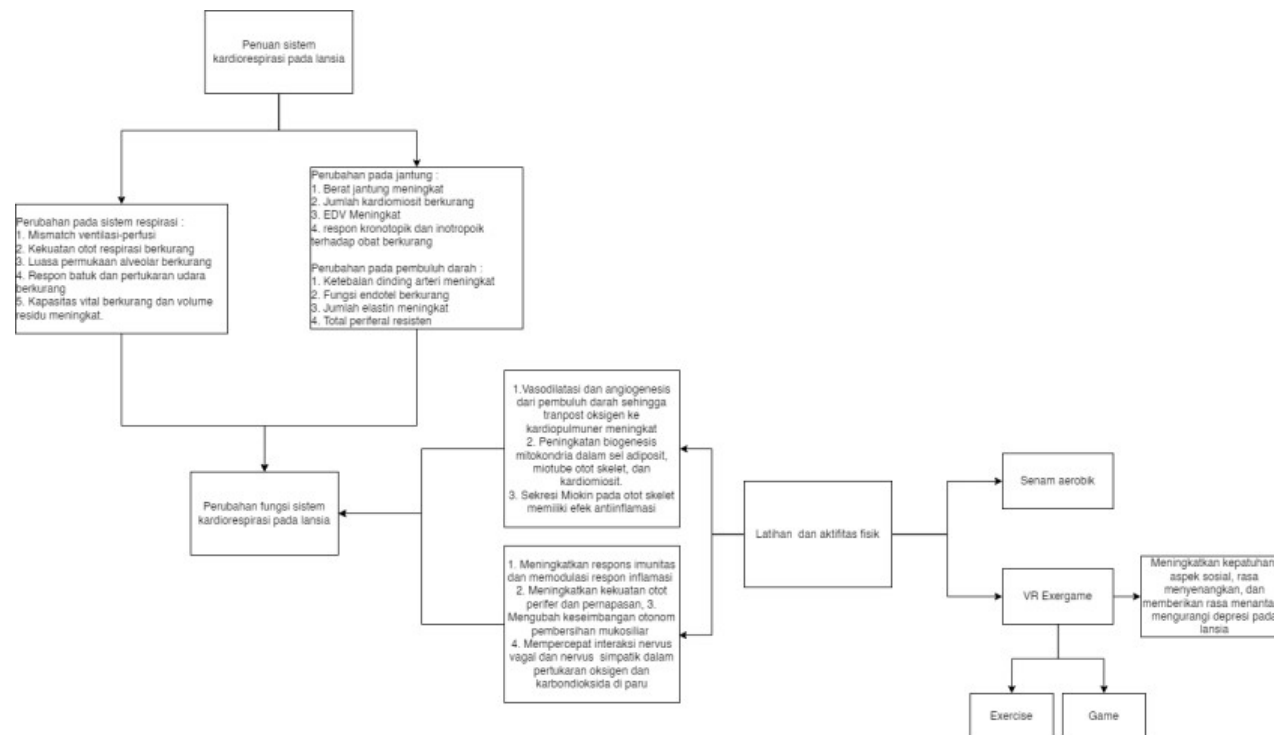
Penelitian VR *exergame* pada lansia dengan demensia menggunakan *Alchemict treasure*, yakni sebuah *game* berlari dan menghindari rintangan dengan HRR 60-65% dan frekuensi 3 kali seminggu menunjukkan ketahanan kardipulmoner yang lebih baik dibandingkan bersepeda secara aerobik (Wu *et al.*, 2023). Penggunaan VR *exergame* berbasis latihan HIIT 3 kali seminggu selama 4 minggu terbukti dapat digunakan sebagai alternatif meningkatkan fungsi kardiorespirasi. Pada penelitian ini didapatkan kepatuhan dalam mengikuti latihan sebesar 91% dan tingkat kesenangan sebesar 93.5%, HR saat istirahat serta mean VO₂max juga secara statistik signifikan berbeda sebelum dan sesudah (Rebsamen *et al.*, 2019).



BAB III

KERANGKA KONSEPTUAL DAN HIPOTESIS

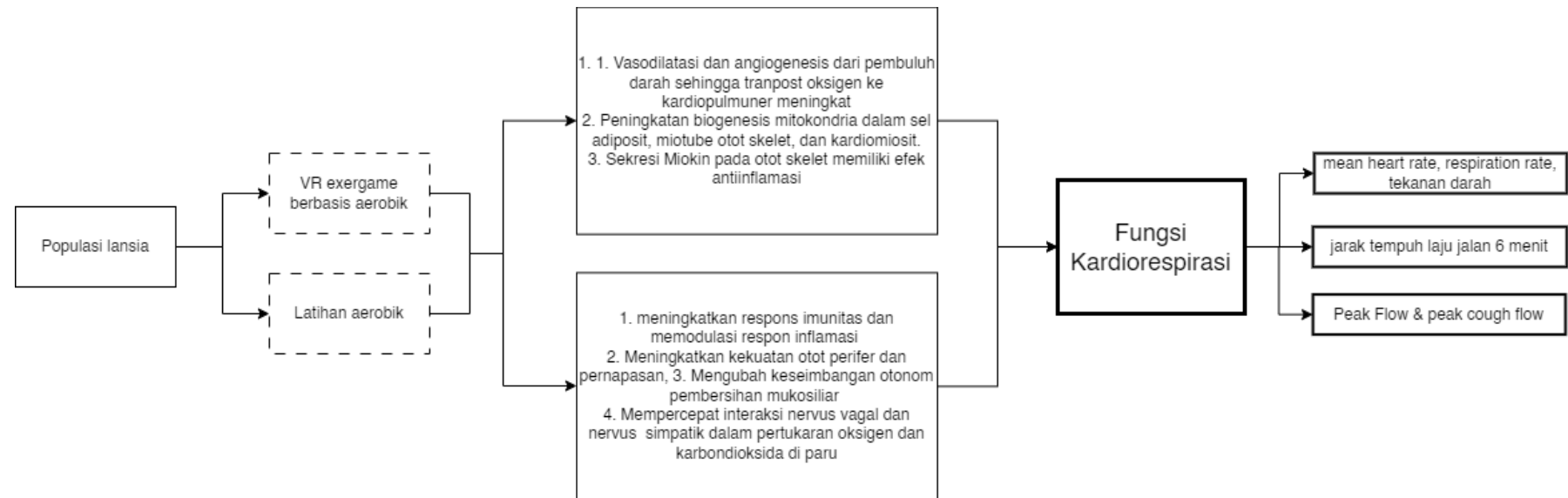
3.1 Kerangka Teori



Gambar 4 Kerangka teori



3.2 Kerangka Konsep



 : variable independen

 : variable antara

 : variable dependent

Gambar 5 Kerangka Konsep



3.3 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis pada penelitian ini adalah:

- Hipotesis nol (H_0):
 1. Tidak terdapat perbedaan signifikan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap fungsi kardiovaskular (*heart rate*, dan tekanan darah) pada lansia.
 2. Tidak terdapat perbedaan signifikan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap fungsi respirasi (*respiration rate*, *peak expiratory flow rate*, dan *peak cough flow rate*) pada lansia.
 3. Tidak terdapat perbedaan signifikan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap prediksi $VO_2\text{max}$ berdasarkan jarak tempuh pada uji jalan enam menit pada lansia.
- Hipotesis alternatif (H_a):
 1. Terdapat perbedaan signifikan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap fungsi kardiovaskular (*heart rate*, dan tekanan darah) pada lansia.
 2. Terdapat perbedaan signifikan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap fungsi respirasi (*respiration rate*, *peak expiratory flow rate*, dan *peak cough flow rate*) pada lansia.
 3. Terdapat perbedaan signifikan efektivitas antara *virtual reality exergame* dan latihan senam aerobik terhadap prediksi $VO_2\text{max}$ berdasarkan jarak tempuh pada uji jalan enam menit pada lansia.

