

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Performa merupakan kemampuan tubuh untuk mempertahankan kerja fisik dalam durasi lama melalui fungsi optimal sistem kardiovaskular, respirasi, dan metabolik. Kapasitas ini ditentukan oleh kemampuan tubuh menyuplai dan memanfaatkan oksigen untuk menghasilkan energi secara efisien. Peningkatan daya tahan umumnya diukur melalui peningkatan kapasitas aerobik (VO_2max), efisiensi ventilasi, dan kemampuan mempertahankan kerja submaksimal tanpa penumpukan laktat yang berlebihan. Adaptasi fisiologis yang mendukung hal tersebut mencakup peningkatan volume sekuncup, jumlah kapiler, dan densitas mitokondria otot akibat latihan teratur (Joyner & Coyle, 2008; Bassett & Howley, 2000).

Olahraga bersepeda merupakan salah satu bentuk aktivitas daya tahan yang menuntut kerja koordinatif antara sistem muskuloskeletal, respirasi, dan sirkulasi. Aktivitas ini membutuhkan suplai oksigen tinggi untuk mendukung metabolisme aerob otot-otot besar tubuh bagian bawah, seperti kelompok otot quadriceps dan hamstring. Dalam kondisi intensitas tinggi, kemampuan tubuh menjaga keseimbangan antara asupan oksigen dan produksi energi menjadi faktor penentu keberhasilan performa. Latihan bersepeda yang dilakukan secara konsisten dapat meningkatkan kapasitas aerobik, efisiensi ventilasi, serta toleransi terhadap akumulasi karbon dioksida, yang semuanya berkontribusi terhadap peningkatan performa (Jeukendrup & Craig, 2012; Brooks et al., 2005).

Keterbatasan performa pada pesepeda amatir umumnya terletak pada kapasitas respirasi dan efisiensi penggunaan oksigen yang belum optimal. Kondisi tersebut menimbulkan kelelahan lebih cepat akibat akumulasi karbondioksida dan penurunan saturasi oksigen darah. Untuk mengatasi hal ini, dibutuhkan metode latihan yang mampu merangsang adaptasi hipoksia tanpa menambah beban mekanik pada otot atau sendi. Pendekatan yang didasarkan pada manipulasi pernapasan, seperti *apnea training*, menjadi alternatif yang relevan karena dapat menstimulasi respon fisiologis mirip dengan latihan di lingkungan hipoksia atau *altitude training* (Woorons et al., 2016; Lemaitre et al., 2010).

Latihan apnea statis merupakan bentuk latihan pernapasan di mana individu menahan napas dalam kondisi diam untuk jangka waktu tertentu guna menimbulkan keadaan hipoksia dan hiperkapnia terkendali. Kondisi tersebut memicu aktivasi *chemoreceptor* yang kemudian menghasilkan respon *diving reflex* berupa penurunan frekuensi jantung, vasokonstriksi perifer, serta redistribusi aliran darah menuju organ vital. Jika dilakukan secara teratur, latihan ini mampu meningkatkan produksi eritropoietin (EPO), konsentrasi hemoglobin (HGB), serta efisiensi penggunaan oksigen di

jaringan. Adaptasi tersebut mencerminkan peningkatan kapasitas transport oksigen yang penting dalam olahraga berbasis daya tahan (Andersson & Schagatay, 2011; Lemaitre et al., 2010).

Selain efek hematologis, latihan apnea statis menimbulkan adaptasi pada sistem saraf otonom berupa peningkatan dominasi parasimpatis dan efisiensi ventilasi. Hal ini dapat menurunkan menit ventilasi dan frekuensi napas saat beraktivitas, sehingga penggunaan energi menjadi lebih ekonomis. Kondisi tersebut memberikan keuntungan pada olahraga seperti bersepeda yang memerlukan kontrol pernapasan stabil dan efisiensi ventilasi yang tinggi. Dengan meningkatnya toleransi terhadap hipoksia, pesepeda dapat mempertahankan intensitas latihan lebih lama sebelum mencapai batas kelelahan (Park et al., 2018; Woorons et al., 2016).

Pendekatan ini berpotensi diterapkan secara luas pada pesepeda amatir yang belum memiliki akses terhadap program latihan hipoksia atau fasilitas ketinggian atau ruang hiperbarik. Latihan apnea statis dapat dilakukan tanpa peralatan khusus, memiliki risiko rendah, serta mampu menghasilkan adaptasi fisiologis yang serupa dengan latihan di lingkungan hipoksia. Penggunaan metode ini diharapkan dapat memberikan peningkatan performa yang signifikan melalui perbaikan efisiensi respirasi dan kapasitas oksigenasi tanpa menambah beban biomekanik (Kotler et al., 2016; Woorons et al., 2016).

Penelitian mengenai pengaruh latihan apnea statis terhadap performa bersepeda masih terbatas, terutama pada populasi pesepeda amatir. Kajian ini penting dilakukan untuk mengetahui sejauh mana latihan apnea dapat memperbaiki efisiensi fisiologis yang berkontribusi terhadap peningkatan performa bersepeda. Hasilnya diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan strategi latihan berbasis respirasi yang efisien, sederhana, dan dapat diterapkan secara luas pada olahraga daya tahan (Lemaitre et al., 2010; Park et al., 2018; Kotler et al., 2016).

Dengan diketahuinya efek fisiologis tersebut, latihan apnea statis yang melibatkan menahan napas dalam waktu tertentu, telah menarik minat penulis untuk meneliti latihan ini sebagai salah satu metode latihan alternatif dalam meningkatkan performa bersepeda.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh latihan apnea statis terhadap performa bersepeda pada pesepeda amatir di Kota Makassar?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisis pengaruh latihan apnea statis terhadap performa bersepeda pada pesepeda amatir di Kota Makassar.

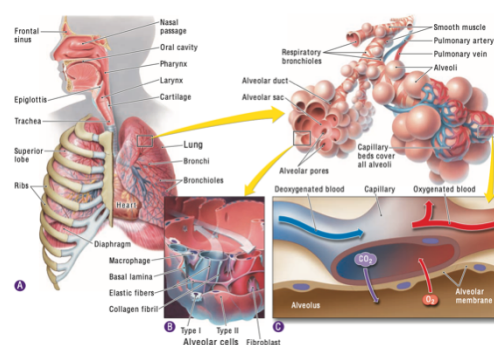
1.3.2 Tujuan Khusus

Menganalisis pengaruh latihan apnea statis terhadap *Functional Threshold Power* (FTP), *Peak Power Output* (PPO), dan VO_{2max} pada pesepeda amatir.

1.4 Teori

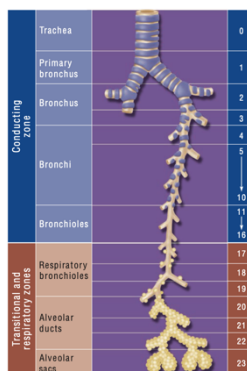
1.4.1 Anatomi dan Fisiologi Sistem Respirasi

Sistem respirasi terbagi menjadi dua zona utama, yakni zona konduksi dan zona respirasi. Zona konduksi meliputi hidung, rongga mulut, faring, laring, trakea, bronkus, dan bronkiolus. Zona ini berfungsi untuk menyalurkan udara, menghangatkan, melembapkan, dan menyaring partikel-partikel asing sebelum mencapai paru-paru. Udara yang masuk akan diatur suhu dan kelembapannya agar sesuai dengan suhu tubuh dan partikel-partikel asing akan dibersihkan melalui mukosa dan silia yang terdapat di sepanjang saluran napas (McArdle, 2015).



Gambar 1 Anatomi Sistem Respirasi (McArdle, 2015)

Sedangkan zona respirasi terdiri dari bronkiolus, duktus alveolaris, dan alveolus, tempat dimana terjadinya difusi antara oksigen dan karbon dioksida sebagaimana digambarkan pada Gambar 2. Setiap alveolus diselubungi oleh jaringan kapiler yang luas berfungsi untuk memfasilitasi efisiensi pertukaran gas. Pada Gambar 1 memperlihatkan struktur alveoli terdiri atas sel tipe I membentuk dinding tipis yang merupakan ruang untuk terjadinya difusi gas, dan sel tipe II yang menghasilkan surfaktan guna mengurangi tegangan pada permukaan alveoli sehingga paru lebih mudah mengembang (McArdle, 2015).



Gambar 2 Zona Pernapasan (McArdle, 2015)

Proses respirasi mencakup serangkaian proses yaitu ventilasi, difusi gas, dan transportasi oksigen serta karbondioksida. Proses ventilasi pulmonal diatur oleh adanya perbedaan tekanan antara atmosfer dan rongga toraks yang dihasilkan oleh kerja otot inspirasi utama (diafragma) dan interkostalis eksterna. Menurut prinsip hukum Fick, kecepatan difusi gas berbanding lurus dengan luas permukaan membran dan perbedaan tekanan parsial gas di kedua sisi, serta berbanding terbalik dengan ketebalan membran. Oksigen berdifusi dari udara alveolar ke kapiler pulmoner karena adanya perbedaan tekanan parsial ($\text{PaO}_2 = 100 \text{ mmHg}$, $\text{PvO}_2 = 40 \text{ mmHg}$). Sebaliknya, karbondioksida berdifusi dari dalam darah ke alveolus akibat gradien tekanan yang berlawanan ($\text{PvCO}_2 = 46 \text{ mmHg}$, $\text{PaCO}_2 = 40 \text{ mmHg}$). Meskipun gradien tekanan karbondioksida lebih kecil, namun difusibilitas karbondioksida sekitar 20 kali lebih besar daripada oksigen sehingga proses pertukaran kedua gas tersebut berlangsung seimbang (McArdle, 2015).

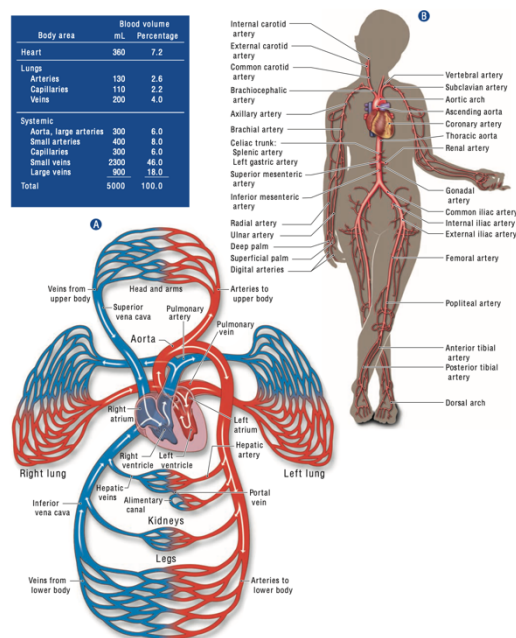
Pada kondisi istirahat, sekitar 250 ml oksigen masuk ke dalam darah setiap menitnya, dan sekitar 200 ml karbondioksida dikeluarkan. Selama latihan intens, proses ini meningkat 25 kali lipat. Regulasi proses ventilasi dikontrol oleh pusat pernapasan di medula oblongata dan pons serta oleh *chemoreceptor* perifer dan sentral yang mendeteksi perubahan PO_2 , PCO_2 , pH, dan suhu darah. Saat PCO_2 meningkat, tubuh akan merespon dengan peningkatan laju ventilasi untuk mengembalikan homeostasis tubuh. Peningkatan produksi karbondioksida dan penurunan pH akibat akumulasi asam laktat akan menstimulasi pusat respirasi untuk meningkatkan frekuensi dan kedalaman napas (hiperventilasi relatif). Ventilasi dapat meningkat dari 6 L/menit saat istirahat menjadi lebih dari 150 L/menit pada latihan maksimal, sementara konsumsi oksigen dapat naik dari 250 mL/menit menjadi 4–5 L/menit pada individu sangat terlatih. Adaptasi ini memastikan pasokan oksigen tetap memadai untuk memenuhi kebutuhan metabolik jaringan (McArdle, 2015).

Sistem respirasi mengalami proses adaptasi selama latihan jangka panjang. Latihan aerobik akan meningkatkan efisiensi ventilasi melalui penurunan *ventilatory*

equivalent for oxygen (VE/VO_2), yaitu jumlah udara yang harus dihirup untuk menggunakan 1L oksigen. Penurunan nilai VE/VO_2 ini menunjukkan bahwa ventilasi menjadi lebih efisien. Selain itu, peningkatan kekuatan otot-otot pernapasan seperti diafragma dan interkostalis akan memperbaiki kemampuan ventilasi pada latihan intensitas tinggi. Saat melakukan aktivitas dengan intensitas berat, tubuh akan menghasilkan lebih banyak laktat dan ion hidrogen H^+ sebagai produk akhir dari sistem energi anaerobik. Saat kadar karbondioksida meningkat, sistem respirasi akan merespon dengan meningkatkan laju ventilasi untuk mengeluarkan karbondioksida yang berlebih untuk mencegah terjadinya asidosis respiratorik (McArdle, 2015).

1.4.2 Anatomi dan Fisiologi Sistem Kardiovaskular

Sistem kardiovaskular terdiri atas jantung, pembuluh darah, dan darah. Jantung berfungsi sebagai pompa ganda yang memisahkan sirkulasi pulmoner (kanan) dan sistemik (kiri). Organ ini memiliki empat ruang yaitu atrium kanan dan kiri, serta ventrikel kanan dan kiri yang dipisahkan oleh septum, katup atrioventrikular dan katup semilunar untuk menjaga aliran darah tidak bercampur (McArdle, 2015).



Gambar 3 Anatomi Sistem Kardiovaskular (McArdle, 2015)

Pada Gambar 3 dapat kita lihat ilustrasi bagaimana sirkulasi darah melalui sistem arteri, kapiler, dan vena akan membentuk sistem tertutup yang efisien. Arteri berperan sebagai saluran bertekanan tinggi yang membawa darah dari jantung menuju seluruh tubuh dimana pembuluh kapiler menjadi tempat pertukaran muatan antara darah dan jaringan. Sedangkan vena berfungsi sebagai reservoir bertekanan rendah untuk pengembalian darah dari jaringan ke jantung. Sekitar 75% volume

darah berada di sirkulasi sistemik, dengan sebagian besar berada di vena kecil dan kapiler (McArdle, 2015).

Jantung merupakan organ berotot yang terletak di mediastinum toraks, berfungsi memompa darah secara ritmis ke seluruh tubuh. Jantung terdiri atas dua bagian yang memiliki fungsi terpisah namun bekerja secara seirama dimana bagian kanan memompa darah vena ke paru-paru untuk proses pertukaran gas (sirkulasi pulmoner), sedangkan bagian kiri memompa darah yang kaya oksigen ke seluruh tubuh melalui sirkulasi sistemik. Secara anatomis dinding ventrikel kiri lebih tebal dibanding ventrikel kanan karena harus menghasilkan tekanan lebih besar untuk mendorong darah ke jaringan perifer melalui aorta (McArdle, 2015).

Setiap sisi jantung terdiri atas atrium yang berfungsi menerima darah dan ventrikel yang berfungsi memompa darah keluar dari jantung. Katup trikuspid dan bikuspid memisahkan atrium dan ventrikel, mencegah aliran balik darah saat terjadi kontraksi ventrikel. Katup pulmonalis dan aorta menjaga agar darah tidak kembali ke ventrikel setelah ejeksi. Pergerakan katup ini bersifat pasif, tergantung pada gradien tekanan antar ruang jantung. Keempat katup tersebut bekerja secara terkoordinasi untuk memastikan aliran darah tetap satu arah dan menjaga efisiensi kerja jantung (McArdle, 2015).

Dinding jantung terdiri atas tiga lapisan yaitu epikardium, miokardium, dan endokardium. Miokardium adalah lapisan tengah yang terdiri dari serat otot jantung (kardiomiosit) yang memiliki kemampuan kontraksi otomatis (*autorhythmicity*). Jaringan ini tersusun dalam pola spiral yang memungkinkan jantung berkontraksi secara efisien dalam pola meremas (*wringing motion*). Jantung menerima suplai oksigen dan nutrisi melalui arteri koroner kanan dan kiri, yang bercabang dari pangkal aorta. Ketika arteri ini tersumbat, suplai oksigen ke miokardium akan terganggu dan dapat menyebabkan terjadinya iskemia atau infark miokard (McArdle, 2015).

Sistem kardiovaskuler juga mencakup pembuluh darah yang berperan dalam distribusi dan pengembalian darah. Arteri memiliki dinding tebal yang terdiri atas tiga lapisan (*tunica intima, media, dan adventitia*), dengan komponen otot polos dan elastin yang memungkinkan ekspansi dan kontraksi sesuai tekanan darah. Arteri besar seperti aorta berfungsi sebagai konduktor tekanan (*pressure reservoir*), sedangkan arteriol berperan sebagai resistensi utama (*resistance vessels*) yang mengatur aliran darah ke jaringan melalui vasokonstriksi dan vasodilatasi pembuluh darah (McArdle, 2015).

Kapiler merupakan pembuluh darah terkecil dengan dinding tipis yang hanya terdiri dari satu lapis sel endotel. Struktur ini memungkinkan pertukaran gas, nutrisi, dan metabolit antara darah dan jaringan secara efisien. Distribusi kapiler sangat

padat di jaringan dengan aktivitas metabolik tinggi, seperti otot rangka, jantung, dan otak. Kapiler bergabung membentuk venula, yang kemudian bersatu menjadi vena. Vena memiliki dinding yang lebih tipis dan terdapat katup satu arah untuk mencegah terjadinya aliran balik darah, terutama di ekstremitas bawah (McArdle, 2015).

Darah sebagai komponen ketiga sistem kardiovaskuler berfungsi sebagai media transportasi. Volume darah total sekitar 7–8% dari berat badan, dengan komposisi utama berupa plasma (55%) dan elemen seluler (45%) yang terdiri dari eritrosit, leukosit, dan trombosit. Eritrosit mengandung hemoglobin yang berperan penting dalam pengangkutan oksigen. Plasma mengandung protein, elektrolit, hormon, dan zat gizi yang mendukung fungsi homeostasis tubuh (McArdle, 2015).

Secara anatomi fungsional, sistem kardiovaskuler membentuk sistem sirkulasi ganda, yaitu sirkulasi pulmoner yang membawa darah terdeoksigenasi dari ventrikel kanan ke paru-paru untuk pertukaran gas, dan sirkulasi sistemik yang mengalirkan darah beroksigen dari ventrikel kiri ke seluruh tubuh. Kedua sistem ini beroperasi secara paralel untuk memastikan kontinuitas suplai oksigen dan pengeluaran karbon dioksida, serta mempertahankan tekanan darah yang stabil di seluruh jaringan selama aktivitas (McArdle, 2015).

1.4.3 Sistem Energi

Tubuh manusia memiliki tiga sistem utama dalam menghasilkan energi, yaitu sistem fosfagen (ATP-PCr), sistem glikolitik anaerob, dan sistem oksidatif aerobik.

1. Sistem Fosfagen

Sistem ini merupakan penyedia energi tercepat dan paling sederhana, digunakan terutama pada aktivitas intensitas sangat tinggi berdurasi sangat singkat, seperti sprint 100 meter atau *sprint cycling* singkat. Energi diperoleh melalui pemecahan langsung ATP dan fosfokreatin (PCr) yang tersimpan di dalam otot. Reaksi ini dikatalisis oleh enzim kreatin kinase dan myokinase, menghasilkan ATP secara cepat tanpa membutuhkan oksigen (anaerob). Namun, karena cadangan PCr terbatas, sistem ini hanya mampu menopang kontraksi maksimal selama sekitar 6–10 detik (McArdle, 2015; Kisner, C, 2007).

Meskipun kapasitas total energi sistem fosfagen rendah, namun kecepatan produksinya sangat tinggi. Setelah cadangan PCr habis, tubuh mulai mengandalkan sistem glikolitik untuk mempertahankan produksi ATP. Latihan eksplosif berulang dapat meningkatkan konsentrasi PCr otot dan efisiensi resintesis ATP selama fase pemulihan yang penting dalam olahraga dengan karakteristik *interval sprint* seperti bersepeda kompetitif (McArdle, 2015; Kisner, C, 2007).

2. Sistem Glikolitik Anaerob

Ketika aktivitas fisik berlanjut lebih lama (30 detik - 2 menit), sistem glikolisis anaerob menjadi lebih dominan. Proses ini memecah glukosa atau glikogen menjadi asam piruvat, yang kemudian direduksi menjadi asam laktat jika oksigen tidak tercukupi. Meskipun glikolisis anaerob menghasilkan ATP lebih lambat dibanding sistem fosfagen, kapasitas total energinya lebih besar. Namun, akumulasi laktat dan ion hidrogen (H^+) akan menurunkan pH intraseluler, yang pada akhirnya menghambat kontraksi otot dan aktivitas enzim metabolik (Kisner. C, 2007).

Tubuh yang terlatih akan menunjukkan peningkatan kapasitas buffer, yaitu kemampuan untuk menetralkan H^+ dan menunda penurunan pH, sehingga mampu mempertahankan output daya lebih lama. Adaptasi ini juga berkaitan dengan peningkatan aktivitas enzim glikolitik seperti fosfofruktokinase dan laktat dehidrogenase (McArdle, 2015; Kisner. C, 2007).

3. Sistem Oksidatif

Untuk aktivitas berdurasi panjang (>2 menit), sistem oksidatif aerobik menjadi penyumbang energi utama. Proses ini berlangsung di dalam mitokondria, tempat terjadinya oksidasi karbohidrat, lemak, dan (dalam kondisi tertentu) protein untuk menghasilkan ATP dalam jumlah besar melalui siklus Krebs dan rantai transport elektron. Oksigen berperan sebagai akseptor elektron terakhir, membentuk air sebagai hasil sampingnya (Kisner. C, 2007).

Karbohidrat merupakan sumber energi yang efisien pada intensitas tinggi karena dapat dioksidasi lebih cepat, sedangkan lemak menjadi dominan pada aktivitas intensitas lebih rendah hingga sedang karena ketersediaannya yang melimpah. Protein hanya berkontribusi kecil terhadap total energi (<10%) kecuali pada kondisi puasa atau latihan ekstrem. Latihan aerobik jangka panjang meningkatkan kapasitas oksidatif otot melalui peningkatan jumlah mitokondria, densitas kapiler, aktivitas enzim oksidatif, serta kemampuan transportasi oksigen oleh sistem kardiovaskular (McArdle, 2015; Kisner. C, 2007).

Ketiga sistem energi tersebut tidak bekerja secara terpisah, melainkan berinteraksi secara dinamis sesuai dengan kebutuhan intensitas dan durasi aktivitas dimana peralihan antar sistem ini dikenal sebagai *energy continuum*.

Adaptasi fisiologis yang terjadi akibat dari latihan dapat menggeser batas dominasi sistem energi. Atlet dengan kapasitas aerobik tinggi mampu mengandalkan metabolisme oksidatif lebih lama sebelum harus bergantung pada

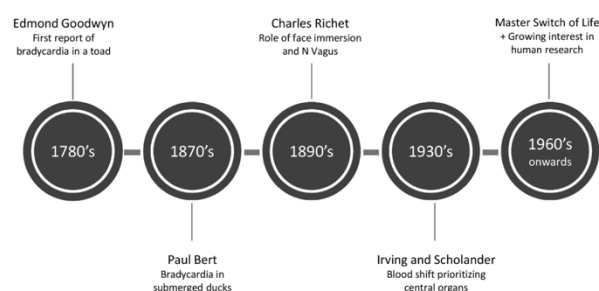
glikolisis anaerob. Hal ini menunda timbulnya kelelahan, meningkatkan efisiensi energi, dan mempertahankan performa pada intensitas tinggi dalam durasi lebih lama (McArdle, 2015).

1.4.4 Latihan Apnea Statis

Sejarah

Efek menahan napas pertama kali diteliti pada tahun 1780 yang dilakukan oleh *Edmond Goodwyn* pada hewan katak dimana ditemukan bahwa ada hubungan antara imersi katak ke dalam air dengan detak jantung yang dalam penelitiannya didapatkan bahwa detak jantung awal katak 40 bpm kemudian menurun menjadi 18 bpm selama imersi (Bradikardia). Kemudian pada tahun 1870, *Paul Bert*, melakukan penelitian yang berfokus pada efek fisiologis dari hipoksia. Serupa dengan penelitian sebelumnya, *Bert* melakukan eksperimen pada hewan bebek dimana ditemukan bahwa bebek dapat bertahan hidup lebih dari 16 menit di dalam air dengan penurunan detak jantung dari 100 bpm menjadi 14 bpm. Penelitian dilanjutkan pada tahun 1890 oleh *Charles Richet*, murid dari *Edmond Goodwyn*. Richet melakukan eksperimen dengan imersi wajah ke dalam air pada bebek yang menemukan bahwa ada hubungan respon vagal terhadap kondisi bradikardia yang terjadi pada sampel setelah dilakukan imersi ke dalam air. Kemudian pada tahun 1930-1960, *Laurance Irving* dan *Per Scholander* mendemonstrasikan dua respons refleks menyelam lain yaitu terjadi perubahan aliran darah dari perifer ke organ pusat dan penurunan metabolisme (Bouten, 2022).

Dari hasil penelitian tersebut mereka menyimpulkan bahwa respon menyelam adalah mekanisme fisiologis kuno yang terdapat pada hampir semua vertebrata, termasuk mamalia darat seperti manusia. Lalu pada tahun 1960 dan seterusnya penelitian mulai berfokus secara khusus pada manusia yang menunjukkan kesamaan respons dalam konteks ini pada populasi Ama, penyelam mutiara di Jepang dan Korea, serta populasi Bajo, nelayan tombak dari Asia Tenggara. Rangkuman dari sejarah latihan apnea lebih ringkas dapat kita lihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Sejarah perkembangan penelitian latihan apnea (Bouten, 2022)

Secara umum, latihan apnea dimanfaatkan dalam olahraga seperti *freediving*, tetapi dalam beberapa tahun terakhir telah dikaji potensinya dalam meningkatkan kapasitas aerobik dan performa olahraga ketahanan seperti berlari atau bersepeda (Woorons et al., 2011).

Prinsip Latihan

Latihan apnea statis merupakan bentuk latihan menahan napas dalam kondisi diam untuk jangka waktu dan repetisi tertentu, yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan parsial oksigen (PaO_2) dan peningkatan tekanan parsial karbon dioksida (PaCO_2) di dalam darah. Kondisi tersebut menciptakan stres hipoksia intermiten yang menstimulasi berbagai respon fisiologis adaptif.

Respon fisiologis yang terjadi selama apnea ditandai oleh aktivasi *diving reflex*, yaitu kombinasi antara refleks bradikardi, vasokonstriksi perifer, dan peningkatan aliran darah ke organ vital seperti jantung dan otak. Mekanisme ini bertujuan mempertahankan perfusi organ penting ketika oksigen dalam kondisi terbatas. Dengan latihan berulang, refleks ini dapat terlatih sehingga meningkatkan efisiensi kerja jantung, menurunkan konsumsi oksigen pada jaringan perifer, dan memperbaiki fungsi kardiovaskular secara keseluruhan (Andersson & Schagatay, 2019). Adaptasi ini menjelaskan mengapa latihan apnea statis dapat meningkatkan efisiensi sirkulasi oksigen selama aktivitas fisik intensitas tinggi.

Hipoksia yang diinduksi selama latihan apnea akan mengaktifkan jalur molekuler yang penting dalam regulasi metabolisme oksigen. Salah satu mediator utama dalam proses ini adalah *Hypoxia-Inducible Factor 1-alpha* (HIF-1 α), yaitu faktor transkripsi yang berperan dalam mengatur ekspresi berbagai gen yang berhubungan dengan adaptasi terhadap hipoksia, seperti gen yang mengatur produksi EPO, angiogenesis, dan peningkatan kapasitas oksidatif otot (Semenza, 2014). Aktivasi HIF-1 α memicu peningkatan efisiensi transport oksigen melalui peningkatan kadar hemoglobin dan kapilarisasi jaringan otot (Terrados & Hochachka, 2017).

Penurunan oksigen dalam darah akan merangsang ginjal untuk meningkatkan produksi EPO, hormon yang menstimulasi pembentukan sel darah merah baru di sumsum tulang. Peningkatan jumlah eritrosit meningkatkan kapasitas darah dalam mengangkut oksigen ke jaringan, yang pada akhirnya memperbaiki performa aerobik dan daya tahan (Wilber, 2011). Mekanisme ini menjadikan latihan apnea statis sebagai alternatif dari *altitude training* tanpa memerlukan paparan lingkungan hipobarik.

Adaptasi Fisiologis

Latihan apnea yang teratur akan memberikan respon fisiologis secara akut maupun kronis. Tubuh akan lebih mampu menoleransi akumulasi karbondioksida dan menunda munculnya sensasi dispnea. Adaptasi ini berkaitan dengan peningkatan kapasitas *buffering* terhadap ion hidrogen (H^+), sehingga tubuh dapat mempertahankan keseimbangan asam-basa lebih lama selama aktivitas intensitas tinggi. Selain itu, peningkatan efisiensi ventilasi paru dan kapasitas difusi oksigen juga dilaporkan pada individu yang rutin melakukan latihan apnea (Lemaître et al., 2009).

Paparan hipoksia intermiten yang ditimbulkan oleh latihan apnea dapat menggeser ambang anaerobik ke arah yang lebih tinggi, sehingga tubuh mampu memanfaatkan sistem energi aerobik lebih efisien sebelum berpindah ke metabolisme anaerobik. Kondisi ini memungkinkan atlet untuk bekerja pada intensitas tinggi dengan kelelahan yang lebih lambat, yang menjadi dasar peningkatan performa olahraga daya tahan (Millet et al., 2012).

Latihan apnea secara teratur terbukti menurunkan denyut jantung istirahat dan meningkatkan *stroke volume* yang secara linear meningkatkan *cardiac output* pada intensitas latihan yang sama. Hal ini mencerminkan peningkatan efisiensi jantung dalam memompa darah tanpa peningkatan beban kerja yang berlebihan (Lodin-Sundström et al., 2020).

Literatur lain mengemukakan bahwa latihan apnea dapat memicu adaptasi neuromuskular yang berhubungan dengan peningkatan efisiensi metabolik otot. Dalam kondisi hipoksia, tubuh meningkatkan aktivitas enzim oksidatif seperti sitrat sintase dan suksinat dehidrogenase yang berperan dalam siklus asam sitrat. Adaptasi ini membantu otot bekerja lebih efisien dalam memanfaatkan oksigen, terutama pada serat otot tipe I dan IIa yang dominan digunakan dalam olahraga ketahanan seperti bersepeda (Gatterer et al., 2018).

Dalam konteks olahraga bersepeda, peningkatan VO_{2max} merupakan indikator utama untuk menilai kapasitas aerobik. VO_{2max} yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan tubuh untuk mengonsumsi dan memanfaatkan oksigen dalam jumlah besar selama aktivitas intensitas tinggi. Latihan apnea statis terbukti meningkatkan VO_{2max} secara tidak langsung dengan cara memperbaiki kapasitas difusi paru, transport oksigen dalam darah, dan utilisasi oksigen oleh jaringan perifer (Woorons et al., 2016).

Latihan apnea juga memiliki manfaat psikologis dalam meningkatkan fokus, kontrol pernapasan, dan ketahanan mental. Kemampuan menahan napas dalam kondisi yang tidak nyaman dapat melatih sistem saraf untuk tetap stabil dibawah stres fisiologis, hal ini penting dalam mempertahankan performa optimal selama aktivitas

berintensitas tinggi (Schagatay et al., 2020). Hal ini menjadikan latihan apnea bukan hanya sebagai stimulus fisik, tetapi juga sebagai latihan kontrol psikologis dalam olahraga daya tahan.

Risiko dan Keamanan

Terdapat sejumlah literatur yang mengulas tentang risiko dan keamanan latihan apnea statik, terutama dalam konteks olahraga menyelam dan aktivitas lain yang melibatkan menahan napas. Studi oleh Ferrigno *et al.* (1991) menggarisbawahi pentingnya pemahaman yang mendalam tentang fisiologi pernapasan dan risiko hipoksia yang terkait dengan latihan apnea. Mereka menyoroti bahwa pengetahuan yang tepat tentang teknik-teknik pernapasan, termasuk teknik relaksasi dan pengaturan napas, dapat membantu dalam mengelola risiko dan meningkatkan keamanan latihan (Ferrigno, et al., 1991).

Selain itu, penelitian oleh Lindholm dan Lundgren (2009) mengungkapkan bahwa pengaturan napas sebelum dan setelah latihan apnea statis dapat mempengaruhi risiko hipoksemia dan hipokapnia yang berhubungan dengan kehilangan kesadaran. Mereka menyarankan untuk menghindari hiperventilasi yang berlebihan sebelum menahan napas untuk mencegah efek yang berbahaya (Lindholm & Lundgren, 2009).

Studi ilmiah lain telah memberikan perbandingan yang berharga antara risiko dan keamanan latihan apnea statis di darat dengan apnea dalam air. Penelitian oleh Schipke dan Tetzlaff (2019) menyimpulkan bahwa, latihan apnea statis relatif lebih aman daripada apnea dalam air dalam hal risiko tenggelam atau cedera fisik akibat tekanan air. Salah satu risiko utama yang diidentifikasi dalam apnea statis adalah potensi hipoksia yang dapat menyebabkan kehilangan kesadaran jika latihan dilakukan tanpa pengawasan atau tidak sesuai dengan batas kemampuan individu. Di sisi lain, apnea dalam air memiliki risiko tambahan seperti risiko aspirasi atau kekurangan oksigen yang lebih cepat terjadi karena paparan terhadap air (Schipke, Lemaitre, Cleveland, & Tetzlaff, 2019).

Kesimpulannya, latihan apnea statis dapat memberikan alternatif yang lebih aman daripada apnea dalam air dalam beberapa aspek, namun penting untuk tetap meminimalkan potensi risiko yang dapat terjadi.

1.4.5 Latihan Bersepeda

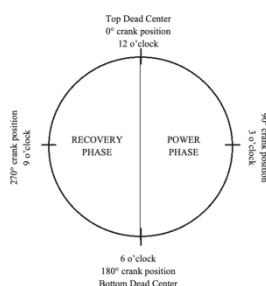
Latihan bersepeda merupakan bentuk aktivitas fisik yang melibatkan kontraksi ritmis otot-otot besar pada tungkai bawah secara berulang dan teratur, yang menuntut kerja sistem kardiovaskular dan respirasi secara berkelanjutan. Secara fisiologis, bersepeda termasuk dalam kategori latihan *endurance* aerobik, yaitu jenis latihan yang meningkatkan kapasitas tubuh untuk menggunakan oksigen dalam

produksi energi jangka panjang. Aktivitas ini melibatkan interaksi kompleks antara sistem kardiorespirasi, muskuloskeletal, dan metabolik dalam menjaga keseimbangan antara suplai dan kebutuhan energi selama latihan (Faria et al., 2005).

Pertama kali ditemukan pada abad ke-19 tepatnya pada tahun 1817 oleh seorang berkebangsaan Jerman bernama *Karl Drais*, yang pada awalnya ditujukan sebagai sebuah alat transportasi untuk memudahkan manusia bergerak dari satu tempat ke tempat lain. Pada abad ke-19 penggunaan sepeda sebagai alat olahraga mulai berkembang di Eropa dimana bersepeda tidak hanya dianggap sebagai alat transportasi saja, namun juga menjadi bentuk rekreasi yang menyenangkan dan juga sebagai sarana yang mampu meningkatkan kebugaran fisik (Kraus & Koch, 2021).

Biomekanika

Secara biomekanika, siklus mengayuh (*pedaling cycle*) merupakan gerakan melingkar yang halus dan berulang, dengan perubahan beban yang merata sepanjang rotasi pedal. Pada Gambar 5 memperlihatkan siklus mengayuh yang terbagi menjadi dua fase yaitu *power phase* saat menekan pedal dari arah jam 12 hingga jam 6 dan *recovery phase* saat tungkai kembali ke posisi jam 12.



Gambar 5 Fase gerakan saat mengayuh (Kopacz et.al, 2014)

Tidak adanya fase “*impact*” seperti dalam langkah lari menyebabkan beban kompresif pada sendi lutut menjadi lebih rendah. Hal ini menjadikan olahraga bersepeda menjadi salah satu latihan dengan beban mekanik rendah terhadap sendi (*low-impact exercise*). Dalam satu siklus pedal, beban maksimum pada sendi lutut terjadi disekitar sudut 80–100° fleksi, namun bersifat dinamis dan tidak terjadi secara tiba-tiba. Gaya ini lebih dapat dikendalikan karena intensitas dan resistensi pedal dapat diatur secara bertahap sesuai kemampuan individu (Ericson & Nisell, 1987). Gaya geser (*shear force*) dan torsi rotasional yang terjadi pada sendi lutut selama bersepeda relatif kecil dibandingkan aktivitas dengan beban tinggi. Ini disebabkan oleh gerakan mengayuh pedal yang bersifat terarah dan berporos tetap, sehingga mengurangi deviasi sudut sendi yang ekstrem. Posisi biomekanik yang optimal (terutama tinggi sadel yang sesuai) akan menjaga kesejajaran antara sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki selama *power phase*, sehingga distribusi gaya tetap linier dan efisien. Studi menunjukkan bahwa penyesuaian tinggi sadel hingga 25–35° pada

ekstensi lutut merupakan yang paling ideal untuk meminimalkan gaya tekan patelofemoral dan risiko nyeri lutut anterior (Bini et al., 2011).

Gerakan mengayuh sepeda menempatkan beban yang rendah pada sendi lutut dan panggul. Karakteristik ini menjadikan olahraga bersepeda ideal digunakan dalam program rehabilitasi muskuloskeletal, terutama pada pasien dengan osteoarthritis, cedera ligamen, atau pascaoperasi ortopedi. Latihan ini membantu mempertahankan mobilitas sendi, memperkuat otot tungkai bawah, dan meningkatkan perfusi jaringan tanpa menimbulkan stres mekanik berlebihan (Huang et al., 2016).

Saat bersepeda, berat badan pesepeda sebagian besar ditopang oleh sadel dan rangka sepeda, bukan oleh tungkai bawah. Akibatnya, tekanan aksial yang diterima sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki menjadi jauh lebih kecil sehingga mengurangi risiko terjadinya *overuse* pada kartilago sendi, ligamen, serta jaringan periartikular, menjadikan bersepeda aman untuk digunakan dalam program latihan jangka panjang, bahkan pada individu dengan gangguan muskuloskeletal (Bini & Hume, 2015).

Secara mekanika kerja, gerakan mengayuh akan menghasilkan gaya yang lebih konstan dimana tidak terdapat fase eksentrik dengan beban tinggi seperti pada lari atau latihan beban. Gerakan mengayuh lebih banyak melibatkan kontraksi konsentris otot-otot tungkai, khususnya kelompok otot quadrisep dan gluteus, dengan kontraksi eksentrik yang minimal. Hal ini berarti jaringan otot mengalami stres mekanik yang lebih ringan dan risiko terjadinya *Delayed Onset Muscle Soreness* (DOMS) menjadi jauh lebih rendah dibandingkan olahraga yang dominan terjadi kontraksi eksentris. Kontraksi konsentris berulang ini menjelaskan mengapa latihan bersepeda banyak digunakan pada fase awal rehabilitasi setelah cedera atau operasi ekstremitas bawah (Johnston et al., 2018). Penelitian yang berfokus pada biomekanika menunjukkan bahwa *ground reaction force* yang dihasilkan selama berlari dapat mencapai 2–3 kali lipat berat badan, sedangkan selama bersepeda gaya ini hanya sekitar 1,1–1,2 kali lipat berat badan, tergantung posisi tubuh dan beban saat menekan pedal sehingga menjadikan bersepeda aman bahkan untuk pasien dengan osteoarthritis atau pascaoperasi penggantian sendi (Huang et al., 2016).

Selain itu, gerakan siklik yang terarah dapat membantu menjaga *joint lubrication* melalui peningkatan sirkulasi cairan sinovial tanpa menyebabkan gesekan berlebihan antarpermukaan tulang rawan. Gerakan berulang yang terkontrol ini merangsang difusi nutrisi ke dalam kartilago, memperlambat degenerasi sendi, dan membantu mempertahankan mobilitas fungsional jangka panjang. Efek biomekanik ini menjadi alasan mengapa latihan bersepeda sering direkomendasikan untuk

pasien dengan nyeri lutut kronik atau keterbatasan mobilitas sendi. Dalam konteks rehabilitasi, latihan bersepeda sering digunakan dalam bentuk *stationary cycling* atau *ergocycle training* di dalam ruangan. Alat ini memungkinkan pengaturan beban dan intensitas latihan dengan presisi tinggi, sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi klinis pasien (Miyazaki et al., 2017).

Adaptasi Fisiologis

Studi menunjukkan bahwa latihan bersepeda terstruktur selama 8–12 minggu mampu meningkatkan kekuatan otot quadriceps, kestabilan sendi lutut, serta menurunkan nyeri dan kekakuan pada pasien osteoarthritis genu (Miyazaki et al., 2017). Adaptasi ini berhubungan dengan peningkatan aktivasi otot lokal, sirkulasi sinovial, dan penurunan mediator inflamasi intraartikular. Selain itu, latihan bersepeda juga efektif sebagai komponen *return to activity program* bagi atlet setelah cedera. Selama fase rehabilitasi pasca cedera lutut atau pergelangan kaki, latihan bersepeda digunakan untuk mempertahankan kebugaran kardiovaskular tanpa menimbulkan stres kompresi pada sendi. Latihan ini memfasilitasi pengembalian lingkup gerak sendi progresif dan meningkatkan aliran darah ke jaringan yang sedang dalam proses penyembuhan, mempercepat regenerasi otot dan tendon (Bini et al., 2011).

Latihan bersepeda digunakan sebagai model untuk menilai kapasitas fungsional dan adaptasi fisiologis terhadap berbagai intervensi, seperti latihan hipoksia, latihan interval, atau terapi rehabilitasi. Hal ini karena bersepeda memungkinkan pengendalian intensitas yang presisi dan pengukuran variabel fisiologis seperti konsumsi oksigen, detak jantung, dan daya output secara langsung (Jeukendrup et al., 2000).

Berbagai literatur telah menyatakan bahwa latihan yang dilakukan secara teratur akan menimbulkan adaptasi kardiovaskular yang signifikan. Peningkatan *stroke volume* dan penurunan denyut jantung istirahat merupakan dua indikator utama dari peningkatan efisiensi jantung akibat latihan daya tahan. Hal ini terjadi karena pembesaran ventrikel kiri secara fisiologis (*athlete's heart*), yang menyebabkan peningkatan kapasitas pompa jantung tanpa meningkatkan tekanan darah secara berlebihan (Ekblom & Hermansen, 1968).

Latihan bersepeda yang dilakukan dengan intensitas sedang hingga tinggi secara progresif meningkatkan nilai VO_2max , yang merupakan indikator utama dari kapasitas aerobik. VO_2max merefleksikan kemampuan sistem kardiovaskular dan respirasi dalam mengirim oksigen ke otot aktif serta kemampuan otot tersebut dalam memanfaatkannya untuk menghasilkan energi. Peningkatan VO_2max sangat penting

bagi pesepeda, karena berhubungan langsung dengan kemampuan mempertahankan performa tinggi secara berkelanjutan (Bassett & Howley, 2000).

Adaptasi juga terjadi pada sistem anaerobik. Pada latihan intensitas tinggi, otot menghasilkan tenaga melalui sistem glikolisis anaerobik, yang menghasilkan asam laktat sebagai produk samping. Latihan interval intensitas tinggi pada pesepeda terbukti dapat meningkatkan ambang laktat dan *buffering capacity*, yaitu kemampuan otot untuk menahan akumulasi asam laktat sebelum menurunkan performa (Laursen & Jenkins, 2002).

Aktivitas ini efektif dalam menurunkan massa lemak tubuh sekaligus mempertahankan atau menambah massa otot, terutama pada ekstremitas bawah. Penambahan massa otot berkontribusi terhadap peningkatan *resting metabolic rate* (RMR), yang berdampak positif terhadap pengendalian berat badan serta kesehatan metabolik secara keseluruhan (Ainsworth et al., 2011).

Tubuh akan terlatih untuk mengoptimalkan penggunaan asam lemak sebagai sumber energi pada intensitas submaksimal. Ini menyebabkan penundaan penggunaan glikogen otot, sehingga daya tahan akan meningkat dan onset kelelahan tertunda. Pada saat yang sama, peningkatan aktivitas enzim β -oksidasi dan ketersediaan transport lipid ke dalam mitokondria juga menjadi bagian dari adaptasi metabolik yang mendukung peningkatan efisiensi aerobik (Hawley et al., 2014).

Meningkatnya koordinasi motorik antara kelompok otot agonis dan antagonis yang terlibat dalam siklus pedal, seperti otot quadriceps, hamstring, gastrocnemius, dan gluteus dilaporkan sebagai hasil adaptasi pada sistem neuromuskuler. Meningkatnya efisiensi neuromuskular akan menghasilkan gerakan mengayuh yang lebih halus dengan pengeluaran energi yang lebih rendah pada intensitas yang sama. Studi menunjukkan bahwa pesepeda terlatih memiliki pola aktivasi otot yang lebih sinkron dibandingkan individu yang tidak terlatih (Hug & Dorel, 2009).

Parameter Performa

Performa dalam bersepeda merupakan hasil dari interaksi yang kompleks antara faktor fisiologis, biomekanika, dan lingkungan. Parameter fisiologis secara umum pada aktivitas atau olahraga daya tahan mencakup kapasitas aerobik maksimum ($\text{VO}_{2\text{max}}$), batas ambang laktat, batas ambang ventilasi, *power output*, ekonomi gerakan (efisiensi biomekanika), serta *fatigue resistance* dan *recovery rate*. Adapun parameter biomekanika menjelaskan efisiensi gerak dan transfer energi selama melakukan olahraga tertentu (McArdle, 2015).

Parameter objektif yang digunakan untuk menilai kemampuan bersepeda adalah FTP, dimana FTP merepresentasikan kemampuan tubuh untuk mempertahankan daya tertinggi dalam durasi tertentu (± 60 menit) sebelum kelelahan

terjadi. Parameter ini dipengaruhi oleh kapasitas aerobik, ambang laktat, dan efisiensi biomekanik. Latihan daya tahan dan interval intensitas tinggi terbukti efektif meningkatkan FTP melalui peningkatan efisiensi transport oksigen serta adaptasi otot terhadap stres metabolik (Gavin. T, et al., 2012).

Hubungan antara latihan apnea statis dan bersepeda

Latihan apnea statis telah dijelaskan dapat memicu terjadinya respon *diving reflex*. Dalam kondisi hipoksia yang berulang dan terkontrol tubuh secara otomatis akan mengaktifkan mekanisme pertahanan terhadap hipoksia melalui jalur parasimpatis sehingga laju jantung menurun, kontraksi limpa untuk melepaskan cadangan RBC, dan meningkatkan produksi EPO. Dalam jangka panjang akan terjadi adaptasi pada sistem buffer sehingga ambang laktat akan meningkat yang secara langsung akan menunda tubuh berganti menggunakan metabolisme anaerob.

Secara teori, peningkatan performa bersepeda melalui latihan apnea statis dapat dicapai melalui peningkatan kapasitas aerobik dimana tubuh menjadi lebih efisien dalam mengantar dan menggunakan oksigen, serta melalui peningkatan ambang batas laktat yang akan menunda tubuh mencapai kondisi kelelahan saat melakukan latihan yang intens.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan terkait pengaruh latihan apnea statis terhadap performa bersepeda pada pesepeda amatir khususnya dalam mengevaluasi FTP, PPO dan VO_{2max} serta memberikan bukti ilmiah terkait latihan apnea statis terhadap performa yang dapat diintegrasikan ke dalam pendekatan rehabilitasi.

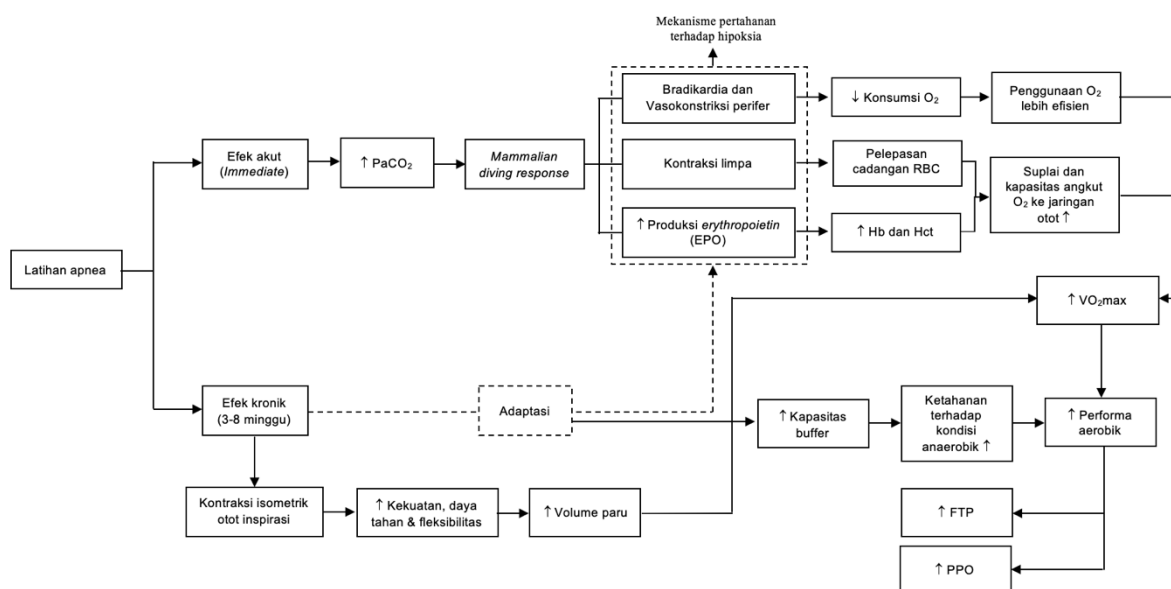
1.5.2 Manfaat Metodologik

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait pengaplikasian metode latihan dan uji latih serta membantu validasi metode latihan dan pelaksanaan penelitian serta memberikan referensi kepada praktisi klinis dalam merancang program rehabilitasi dan sebagai dasar pengembangan protokol latihan.

1.5.3 Manfaat Aplikatif

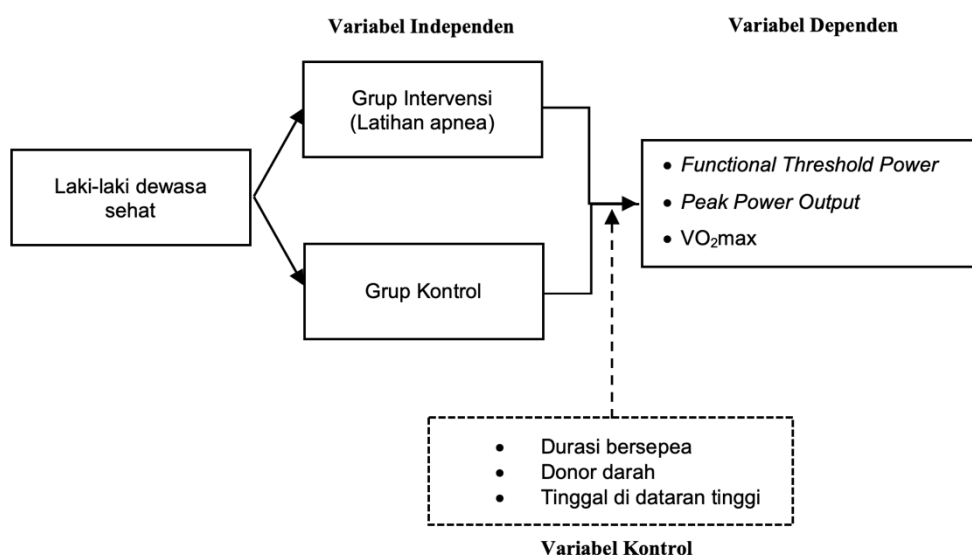
Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan dapat digunakan sebagai salah satu acuan metode latihan yang mudah dan sederhana untuk meningkatkan kapasitas performa bersepeda tidak hanya pada populasi sehat namun juga diharapkan dapat menjadi dasar penelitian selanjutnya pada populasi dengan kebutuhan rehabilitasi.

1.6 Kerangka Teori



Gambar 6 Kerangka Teori

1.7 Kerangka Konsep



Gambar 7 Kerangka Konsep Penelitian

1.8 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis pada penelitian ini adalah :

Hipotesis nul :

- Tidak terdapat pengaruh pemberian latihan apnea statis terhadap FTP, PPO, dan VO_2max

Hipotesis alternatif :

- Terdapat pengaruh pemberian latihan apnea statis terhadap FTP, PPO, dan $VO_2\text{max}$

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan desain penelitian *Single Blind Controlled Trial*.

2.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai Oktober 2025 dimana uji latih bersepeda dilakukan di Sekretariat Komunitas Sepeda Makassar & intervensi akan dilakukan di rumah masing-masing partisipan yang berdomisili di Kota Makassar.

2.3 Populasi dan Sampel

Populasi merupakan keseluruhan subjek penelitian, yang diambil dari komunitas sepeda *roadbike* di Kota Makassar. Sampel penelitian adalah partisipan dari populasi penelitian yang memenuhi kriteria inklusi. Sampel penelitian diperoleh berdasarkan teknik *purposive sampling*.

Penentuan besar sampel menggunakan rumus analitik komparatif numerik tidak berpasangan.

$$n = \frac{2(Z\alpha + Z\beta)^2 s^2}{(x1 - x2)^2}$$

n = jumlah sampel yang dibutuhkan

Z α = Derajat kepercayaan 95% = 1,96

Z β = Kekuatan uji 80% = 0,84

s = standart deviasi

x1-x2 = perbedaan rerata minimal pada 2 kelompok yang dianggap bermakna

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan rumus di atas, maka sampel minimal yang digunakan adalah 26 orang dan jumlah sampel ditambah untuk mengantisipasi kemungkinan *drop out* menggunakan rumus berikut :

$$n' = \frac{n}{(1 - f)}$$

n' = Jumlah total sampel minimal

n = Jumlah sampel minimal

f = perkiraan *drop out*

Angka *drop out* yang diperkirakan adalah 20% sehingga total sampel minimal yang digunakan adalah sebanyak 30 orang yang akan dibagi menjadi 2 kelompok yang akan dievaluasi sebelum dan setelah 4 minggu intervensi.

2.4 Kriteria Inklusi, Eksklusi, dan *Drop Out*

2.4.1 Kriteria Inklusi

1. Jenis kelamin laki-laki
2. Usia 18-45 tahun
3. Tidak terbiasa dengan segala jenis aktivitas menahan napas seperti olahraga bawah air (*Freediving, Apnea diving, Scuba diving, polo air*)
4. Aktif bersepeda dengan frekuensi minimal 3 kali/minggu atau durasi minimal 150 menit/minggu dalam 1 bulan terakhir
5. Bersedia mengikuti kegiatan penelitian dengan menandatangani lembar *informed consent*

2.4.2 Kriteria Eksklusi

1. Memiliki komorbid yang tidak terkontrol atau kondisi kesehatan yang tidak stabil (hipertensi tidak terkontrol, asma tidak terkontrol, gangguan neuromuskuler atau muskuloskeletal)
2. Riwayat anemia atau memiliki gejala anemia
3. Riwayat splenektomi
4. Riwayat donor darah atau tinggal di dataran tinggi 3 bulan sebelum penelitian

2.4.3 Kriteria *drop out*

1. Menolak untuk melanjutkan sesi latihan
2. Mengalami sinkop/*black out* 2 kali latihan secara berturut-turut
3. Meninggal dunia

2.5 Definisi Operasional

1. Pesepeda amatir adalah orang yang melakukan aktivitas bersepeda dan telah menguasai teknik dasar bersepeda serta dilakukan atas dasar hobi dan bukan dilakukan sebagai pekerjaan (Setiawan, 2021-2023; Farikha & Guntur, 2021; Collins, 2024).

Kriteria objektif : Bersepeda minimal selama 4 minggu, frekuensi 3 kali/minggu atau durasi minimal 150 menit/minggu (ACSM's, 2018).

2. Latihan apnea statis merupakan teknik menahan napas secara statis dalam posisi duduk atau berbaring tanpa diikuti dengan gerakan, perpindahan atau kegiatan lain. Latihan yang dilakukan terdiri dari 5 repetisi pada minggu pertama, 10 repetisi pada minggu kedua, dan 15 repetisi pada minggu ketiga dan keempat, dengan durasi

menahan napas selama 60 detik tiap repetisi yang diselingi interval istirahat 2 menit diantaranya. Frekuensi latihan 2 kali/hari, setiap hari, selama 4 minggu.

3. Performa bersepeda adalah kemampuan untuk menghasilkan kerja fisik secara optimal saat bersepeda yang terdiri atas beberapa komponen yaitu daya (*power*), daya tahan (*endurance*) dan kebugaran kardiorespirasi (*cardiorespiratory fitness*).

Indikator *outcome* : *Functional Threshold Power* (FTP), *Peak Power Output* (PPO), $VO_2\max$

Metode : Uji latihan bersepeda dengan metode *ramp test* melalui aplikasi MyWoosh menggunakan perangkat Wahoo Kickr (D. Paton & G. Hopkins, 2001)

4. *Functional Threshold Power* (FTP) merupakan kemampuan tubuh untuk menghasilkan daya tertinggi yang dapat dipertahankan selama durasi tertentu (± 60 menit) tanpa adanya akumulasi laktat yang tidak dapat lagi dikompensasi oleh sistem aerobik (Gavin, et al., 2012).

Kriteria objektif : Diperoleh dari hasil uji latihan bersepeda yang disajikan dalam skala numerik dengan satuan W/Kg.

5. *Peak Power Output* (PPO) adalah daya tertinggi yang dapat dicapai selama uji latihan bersepeda (Bentley et al., 2001).

Kriteria objektif : Diperoleh dari hasil uji latihan bersepeda dengan melihat *peak power* yang dicapai selama uji latihan. Data dalam skala numerik dengan satuan Watt.

6. $VO_2\max$ merupakan kapasitas maksimum yang terintegrasi dari sistem paru, kardiovaskular, dan otot untuk menyerap, menyalurkan, dan menggunakan oksigen (Smirmaul et al., 2013).

Kriteria objektif : Diperoleh dari hasil uji latihan bersepeda, disajikan dalam skala numerik dengan satuan ml/kg/menit. Nilai dihitung menggunakan rumus $16.6 + (8.87 \times \text{FTP})$ (Sitko et.al., 2022).

7. Donor darah adalah kegiatan mengambil sejumlah darah dari tubuh dalam volume tertentu untuk diberikan kepada pihak yang membutuhkan. Data diperoleh dari anamnesis.

8. Tinggal di dataran tinggi adalah kegiatan berdomisili di dataran tinggi yakni pada ketinggian 1500-2500 mdpl selama 3 bulan sebelum atau selama penelitian. Data diperoleh dari anamnesis.

2.6 Instrumen Penelitian

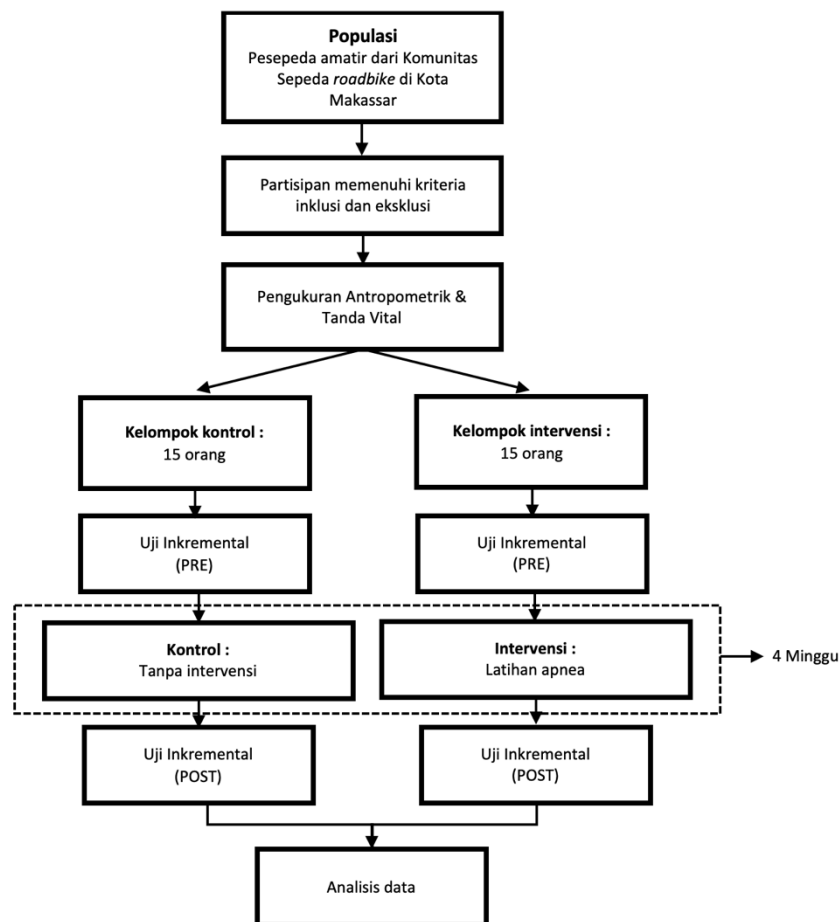
- a. Lembar surat izin etik penelitian
- b. Lembar atau file *informed concent* partisipan
- c. *Bike Trainer*
- d. Sepeda *roadbike*, sepatu, pakaian bersepeda

- e. Sensor detak jantung (*Chest strap / wrist strap*)
- f. *Emergency kit*
- g. Oksimeter
- h. Sphygmomanometer
- i. Stetoskop
- j. Timbangan berat badan
- k. Meteran tinggi badan
- l. Skala Borg
- m. Kipas angin
- n. Laptop atau tablet
- o. Meja
- p. Tabung oksigen, selang dan kanula oksigen
- q. Kursi
- r. Pulpen
- s. Kabel rol
- t. Program analisis data

2.7 Analisis Data Statistik

- Data diolah menggunakan *Statistic Package for the Social Sciences* (SPSS) versi 26 *for Mac*
- Uji normalitas dilakukan dengan uji normalitas Saphiro Wilk
- Dilakukan uji t berpasangan (kontrol) dan uji wilcoxon (intervensi) untuk menganalisis data *outcome* pada intrakelompok
- Perubahan delta (Δ) outcome antarkelompok dianalisis menggunakan uji t tidak berpasangan dan uji Mann-Whitney U
- Nilai *p-value* <0.05 akan dijadikan patokan sebagai pengambilan kesimpulan hasil yang signifikan serta dengan menetapkan taraf kepercayaan 95%

2.8 Alur Penelitian



Gambar 8 Alur Penelitian

2.9 Etika Penelitian

- Sebelum penelitian
 - Peneliti telah memperoleh perizinan etik dari Komisi Etik Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin dengan nomor rekomendasi 598/UN4.6.4.5.31/PP36/2025.
- Selama penelitian
 - Seluruh prosedur penelitian hanya dilakukan apabila partisipan bersedia menjadi subjek penelitian.
 - Apabila saat pengambilan data subjek penelitian merasakan lelah atau keluhan medis lainnya, pemeriksaan dihentikan dan berfokus pada penanganan gejala subjek penelitian.
- Setelah penelitian
 - Menjaga identitas pribadi seluruh partisipan penelitian.

- Seluruh hasil pemeriksaan yang dilakukan dalam penelitian disampaikan kepada masing-masing subjek penelitian.