

BAB I

PENDAHULUAN

Bab satu membahas mengenai latar belakang penelitian, identifikasi dan rumusan masalah penelitian, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang Penelitian

Polusi udara saat ini merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi yang memiliki dampak terhadap iklim dan kesehatan masyarakat. Hal ini menyebabkan polusi udara menjadi faktor risiko penting bagi peningkatan morbiditas dan mortalitas. *The Lancet Commission on Pollution and Health* melaporkan bahwa polusi udara diperkirakan bertanggung jawab atas sekitar 9 juta kematian di seluruh dunia pada tahun 2015, yang menyebabkan polusi merupakan faktor risiko lingkungan terbesar untuk terjadinya penyakit dan kematian dini (Fuller et.al, 2022). Polusi udara lingkungan dan rumah tangga bersama-sama menempati peringkat kelima di antara lima faktor risiko utama kematian di seluruh dunia (Brunekreef B, Holgate ST, 2002)

Polutan dapat diklasifikasikan menjadi primer atau sekunder. Polutan primer adalah polutan yang dipancarkan langsung ke atmosfer oleh industri, pembangkit listrik termoelektrik, dan kendaraan bermotor yang ditenagai oleh bahan bakar. Polutan primer meliputi sulfur dioksida (SO_2); nitrogen oksida (NO_x : NO dan NO_2); serta *particulate matter* (PM). *Particulate matter* didefinisikan sebagai total partikel tersuspensi dengan diameter aerodinamis kurang dari $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) dan diameter aerodinamis kurang dari $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$); dan karbon monoksida (CO). Di beberapa negara, senyawa organik volatil (VOC) dan logam juga dipantau. Partikel halus dan ultra halus, karena memiliki rasio permukaan/massa yang lebih tinggi dan dapat ditransfer ke sirkulasi sistemik, memiliki efek yang lebih nyata.

Polutan sekunder adalah polutan yang terbentuk dari reaksi kimia yang disebabkan oleh oksidasi fotokimia VOC yang dikatalisasi NO_x , yang dengan adanya sinar ultraviolet dari sinar matahari, menimbulkan ozon. Polutan sekunder lainnya terbentuk melalui proses nukleasi dan kondensasi polutan gas (NO_2 dan

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

SO₂) dan kabut asam, seperti NO_x dan PM sekunder, yang dibentuk oleh sulfat dan nitrat (Stanek et.al, 2011; Monge et.al, 2010). Karbon monoksida dan PM merupakan sumber utama polusi udara di perkotaan. Karbon monoksida terutama dihasilkan oleh mesin kendaraan bermotor dan pembakaran tidak sempurna lainnya serta memiliki potensi terhadap terjadinya risiko terhadap keselamatan public (Batalioto, et al., 2022). Sementara itu, PM sering dikaitkan dengan efeknya terhadap kesehatan, seperti penyakit pernafasan, kardiovaskular dan kanker, dengan PM dihasilkan dari berbagai sumber, termasuk transportasi, industri serta aktivitas domestic (Karagulian, et al., 2015). Hal tersebut menyebabkan jenis polutan ini perlu mendapatkan perhatian oleh karena kontribusinya terhadap kualitas udara yang buruk serta dampaknya terhadap kesehatan masyarakat.

Kerusakan pada jaringan tubuh yang disebabkan oleh materi partikulat dan polutan gas bergantung pada beberapa faktor, yaitu ukuran partikel (Mun et al, 2022), durasi pemaparan, konsentrasi polutan yang dihirup, pertahanan sistem pernapasan, dan kelarutan polutan gas (Abdel-Salam, 2020). Mekanisme yang mungkin terlibat dalam efek kardiorespirasi termasuk peradangan dan stres oksidatif yang disebabkan oleh oksigen reaktif dan spesies nitrogen (RONS) yang dihasilkan oleh polutan yang dihirup. Studi menunjukkan terdapat jenis polutan yang termasuk ke dalam radikal bebas persisten lingkungan (EPFR) yang dapat bertahan di udara dalam beberapa bulan, bahkan tahun (Gehling and Dellinger, 2013).

Stres oksidatif adalah suatu keadaan ketika jumlah radikal bebas di dalam tubuh melebihi kapasitas tubuh untuk menetralkannya. Akibatnya, intensitas proses oksidasi sel-sel tubuh normal menjadi semakin tinggi dan menimbulkan kerusakan yang lebih banyak. Stress oksidatif dapat disebabkan oleh aktivitas fisik dengan intensitas yang tinggi yang dapat meningkatkan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS). Di samping itu, durasi aktivitas fisik turut berperan dalam peningkatan ROS. Semakin lama aktivitas fisik dilakukan, produksi ROS akan semakin meningkat (Zhou et.al., 2022).

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

Stres oksidatif merupakan ketidakseimbangan antara radikal bebas (prooksidan) dengan antioksidan yang dapat menetralkannya. Ketidakseimbangan ini dapat diakibatkan oleh kurangnya antioksidan atau meningkatnya produksi radikal bebas. Radikal bebas didefinisikan sebagai sebuah molekul atau bagian molekuler yang mengandung satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan pada orbit atom atau molekuler terjauh dan dapat bereksistensi sendiri (Halliwell and Gutteridge dalam Sen, et al., 2010). Istilah stres oksidatif juga didefinisikan sebagai suatu keadaan ketika terjadi peningkatan level ROS. Dalam jumlah normal, ROS berperan pada berbagai proses fisiologis seperti sistem pertahanan, biosintesis hormon, fertilisasi, dan sinyal seluler. Akan tetapi, peningkatan produksi ROS yang dikenal dengan kondisi stres oksidatif memiliki implikasi pada berbagai macam penyakit seperti hipertensi, aterosklerosis, diabetes, gagal jantung, stroke, dan penyakit kronis lainnya (Paravicini & Touyz, 2008).

Tubuh manusia dapat menetralkan radikal bebas bila jumlahnya tidak berlebihan. Mekanisme pertahanan tubuh dari radikal bebas adalah berupa antioksidan di tingkat sel, membran, dan ekstra sel. Berdasarkan sumbernya, antioksidan dibagi menjadi antioksidan endogen, yaitu enzim-enzim yang bersifat antioksidan, seperti: Superoksida Dismutase (SOD), katalase (Cat), dan glutathione peroksidase (Gpx); serta antioksidan eksogen, yaitu yang didapat dari luar tubuh/makanan. Antioksidan diperlukan untuk mencegah stres oksidatif. Antioksidan bersifat sangat mudah dioksidasi, sehingga radikal bebas akan mengoksidasi antioksidan dan melindungi molekul lain dalam sel dari kerusakan akibat oksidasi oleh radikal bebas atau oksigen reaktif. Bila antioksidan endogen tidak mencukupi, tubuh membutuhkan antioksidan dari luar (Werdhasari, 2014).

Penelitian di bidang kedokteran rentan mengalami kesulitan ketika menggunakan manusia sebagai subjek karena risiko yang cukup besar (Ness, 2001), sehingga penelitian ini mengatasi kesenjangan dengan menggunakan tikus sebagai gantinya. Tikus jenis Wistar dipilih karena memiliki kesamaan fisiologis dan genetik dengan manusia (Redei, et al., 2022). Tikus Wistar yang digunakan usia 8-12 minggu dengan pertimbangan, 1) karakteristik fisiologis usia tikus sebanding

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

dengan manusia dewasa (Sengupta, 2013; Rosidah, et. al., 2020), 2) usia 8-12 minggu berada dalam kondisi kesehatan yang stabil (Jacobsen et al., 2006), 3) ukuran tikus usia 8-12 minggu ideal untuk penanganan dan pemeliharaan di laboratorium, dan 4) tikus memiliki siklus reproduksi teratur (Sengupta, 2013). Keuntungan lain dari tikus Wistar adalah ukurannya yang kecil dan kemudahan dalam perawatannya (Bryda, 2013).

Semua bagian tanaman *Moringa oleifera*, baik daun, akar, bunga, polong, dan biji memiliki khasiatnya masing-masing dan memiliki nutrisi seperti vitamin, mineral, fitokimia (Minakshi, et al., 2021), dan protein tingkat tinggi. Daun *Moringa* memiliki flavonoid dan asam fenolik lebih banyak dibandingkan dengan organ *Moringa oleifera* yang lainnya, sehingga daun menjadi sumber alami antioksidan dan anti-inflamasi yang lebih potensial, serta sangat menjanjikan untuk dikembangkan menjadi suplemen makanan yang mempromosikan kesehatan (Xu, Chen, & Guo, 2019). Mengingat manfaatnya yang sangat besar maka *Moringa oleifera* dapat digunakan sebagai antioksidan eksogen dalam menangkal inflamasi akibat radikal bebas.

Inflamasi atau peradangan adalah mekanisme pertahanan alami yang dimiliki tubuh untuk menghilangkan gangguan/rangsangan yang berbahaya, seperti patogen, iritasi, infeksi, trauma, hipersensitivitas, cedera jaringan, sel yang rusak, serta kondisi berbahaya lainnya. Meskipun inflamasi adalah cara tubuh untuk menyembuhkan dirinya sendiri namun bila terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan pada saluran udara dan jaringan paru-paru. *Mitochondria* adalah organel yang unik karena sistem membran ganda, DNA-nya sendiri, dan keterlibatannya dalam menghasilkan energi serta proses seluler lainnya. Di sisi lain, *mitochondria* sangat sensitif terhadap toksik lingkungan dan polusi udara, dan paparan toksik lingkungan menyebabkan perubahan respirasi *mitochondria*.

Aktivitas fisik telah lama diketahui dan diyakini memiliki manfaat terhadap kesehatan. Aktivitas fisik menjadi bagian yang tidak terpisahkan dengan upaya pengobatan berbagai penyakit degeneratif, di antaranya diabetes mellitus dan penyakit kardiovaskuler (Kohl et al., 2012). Aktivitas fisik dengan intensitas sedang

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

dapat memperbaiki profil lemak, peningkatan densitas tulang dan penurunan berat badan (Piggin & Bairner, 2014). Menurut WHO (2024), bentuk aktivitas fisik yang banyak dilakukan di masyarakat adalah berjalan, bersepeda serta jogging yang seringkali dilakukan di ruang terbuka (Lee & Moudon, 2004). Menurut data PBB pada tahun 2018, 55% penduduk dunia tinggal di daerah perkotaan (Ritchie & Roser, 2018). Sedangkan di Indonesia, berdasarkan data tahun 2023, sejumlah 58,57% dari total penduduk tinggal di daerah perkotaan (Statista, 2024). Hal ini menyebabkan tingkat kepadatan penduduk kota lebih besar bila dibandingkan dengan pedesaan. Dengan semakin padatnya penduduk di perkotaan, tingkat pencemaran udara di perkotaan akan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Melihat kondisi tersebut, melakukan aktivitas fisik di perkotaan akan meningkatkan pula pemaparan terhadap polusi udara perkotaan (Giles & Koehle, 2014).

Berbagai penelitian menunjukkan tingkat partisipasi masyarakat untuk melakukan aktivitas fisik, khususnya aktivitas fisik yang ditujukan untuk kesehatan masih rendah. Hal ini ditunjukkan dengan masih rendahnya *Sport Development Index* (Indeks Pembangunan Olahraga) di berbagai daerah di Indonesia (Bangun, 2013; Sumaryanto, 2005). Salah satu dimensi yang menentukan nilai SDI adalah ketersediaan ruang terbuka untuk melakukan olahraga. Saat ini ketersediaan ruang terbuka yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat khususnya di daerah perkotaan menjadi salah satu penyebab rendahnya partisipasi untuk melakukan aktivitas fisik.

Selain ketersediaan ruang terbuka, masalah lain yang perlu diperhatikan agar aktivitas fisik, khususnya aktivitas fisik yang ditujukan untuk kesehatan, agar dapat mencapai tujuannya adalah kualitas udara tempat aktivitas tersebut dilakukan. Informasi dari Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara, Dirjen Pengendalian Pencemaran & Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, berbagai kota besar di Indonesia, khususnya yang berlokasi di pulau Jawa, memiliki kategori indeks pencemaran sedang (ISPU 51 – 101). Kota Bandung sendiri memiliki nilai ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) 65 yang memiliki arti tingkat pencemaran Kota Bandung berada dalam kategori sedang. Dengan indeks pencemaran udara tersebut, perlu diketahui apakah aktivitas fisik yang

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

dilakukan di ruang terbuka Kota Bandung dapat meningkatkan kesehatan bagi pelakunya ataukah mengundang risiko kesehatan lain akibat pencemaran udara.

Hasil penelusuran Hahad et al, (2021) menemukan interaksi antara polusi udara dan aktivitas fisik serta efek gabungannya terhadap hasil kesehatan merupakan area investigasi yang sedang berkembang dengan implikasi kesehatan masyarakat yang penting. Meskipun aktivitas fisik yang teratur dan dilakukan di ruang terbuka dapat meningkatkan kesehatan secara umum, namun bila aktivitas fisik tersebut dilakukan di ruang terbuka yang berpolusi maka hal ini juga dapat meningkatkan penyerapan dan penimbunan polutan udara di paru-paru/saluran udara dan sirkulasi, sehingga meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular (Hahad et.al., 2021). Oleh karena itu, menentukan keseimbangan antara manfaat kesehatan dari aktivitas fisik di ruang terbuka sekaligus mengetahui potensi efek berbahaya dari peningkatan paparan polusi udara selama aktivitas fisik yang disertai dengan pemberian antioksidan memiliki konsekuensi dan urgensi yang sangat penting bagi kesehatan masyarakat sekaligus terhadap bingkai kebijakan pendidikan olahraga secara umum.

Berdasarkan pemaparan tersebut maka penelitian ini berusaha untuk mengungkap perbedaan pengaruh aktivitas fisik di ruang terbuka dan ruang terbuka berpolusi serta pemberian antioksidan terhadap proses inflamasi dan *mitochondrial biogenesis* paru-paru. Signifikansi penelitian ini dapat dilihat dari tiga hal sebagai berikut.

- 1) Relatif belum ditemukan penelitian sejenis mengenai pengaruh aktivitas fisik di ruang terbuka dan ruang terbuka berpolusi udara dan pemberian antioksidan terhadap inflamasi dan *mitochondrial biogenesis*.
- 2) Penelitian ini dapat bermanfaat bagi pemangku kebijakan dalam upaya penyediaan ruang terbuka bagi masyarakat yang akan berpartisipasi dalam aktivitas fisik khususnya bertujuan untuk memelihara dan meningkatkan kesehatannya.
- 3) Penelitian ini dapat bermanfaat bagi pelaku aktivitas fisik di ruang terbuka untuk dapat menggunakan antioksidan dalam upaya perlindungan terhadap efek

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

merugikan yang dapat ditimbulkan ketika melakukan aktivitas fisik khususnya di ruang terbuka yang berpolusi.

1.2 Identifikasi Masalah Penelitian

Pemaparan latar belakang di atas menuntun pada identifikasi masalah penelitian sebagai berikut. Aktivitas fisik yang dilakukan oleh individu terkait erat dengan kemampuan fungsional subjek yang bersangkutan termasuk kemampuan *mitochondrial biogenesis* paru-paru.

- 1) Partikulat dan polutan gas dapat menyebabkan kerusakan pada sel paru-paru yang bergantung pada konsentrasi polutan yang dihirup, pertahanan sistem pernapasan, dan kelarutan polutan gas
- 2) Prevalensi dan insidensi penyakit paru-paru kronis termasuk di antaranya inflamasi paru-paru di seluruh dunia semakin meningkat
- 3) Pemaparan polutan jangka panjang akan meningkatkan risiko terhadap timbulnya inflamasi paru-paru yang ditunjukkan oleh peningkatan penanda inflamasi.
- 4) Mitokondria adalah organel sel yang paling rawan mengalami kerusakan apabila sel mengalami inflamasi.
- 5) Moringa oleifera adalah salah satu jenis tanaman yang memiliki kandungan polifenol yang berfungsi sebagai antioksidan telah banyak digunakan sebagai bahan pangan akan tetapi penggunaannya di bidang kesehatan masih sangat terbatas dan kurang populer.
- 6) Antioksidan eksogen yang semakin populer saat ini yaitu *Moringa oleifera* atau dikenal dengan daun kelor yang dapat menurunkan efek merugikan radikal bebas terhadap kesehatan.

1.3 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah maka rumusan masalah penelitian secara umum adalah: “Apakah terdapat pengaruh aktivitas di ruang

Lucky Angkawidjaja Roring, 2024

**PERBEDAAN PENGARUH AKTIVITAS DI RUANG TERBUKA
DAN RUANG TERBUKA BERPOLUSI SERTA PEMBERIAN ANTIOKSIDAN TERHADAP INFLAMASI
DAN MITOCHONDRIAL BIOGENESIS PARU-PARU**

terbuka dan ruang terbuka berpolusi serta pemberian antioksidan *Moringa oleifera* terhadap inflamasi paru-paru dan *mitochondrial biogenesis*?

Rumusan masalah umum tersebut selanjutnya diturunkan menjadi pertanyaan-pertanyaan khusus sebagai berikut.

- 1) Apakah aktivitas di ruang terbuka berpengaruh terhadap inflamasi paru-paru?
- 2) Apakah aktivitas di ruang terbuka berpengaruh terhadap *mitochondrial biogenesis*?
- 3) Apakah polusi udara berpengaruh terhadap proses inflamasi paru-paru?
- 4) Apakah polusi udara berpengaruh terhadap *mitochondrial biogenesis*?
- 5) Apakah pemberian ekstrak daun *Moringa oleifera* berpengaruh terhadap inflamasi paru-paru.
- 6) Apakah pemberian ekstrak daun *Moringa oleifera* berpengaruh terhadap *mitochondrial biogenesis*.

1.4 Tujuan Penelitian

Secara umum, penelitian bertujuan untuk menghasilkan data empirik mengenai pengaruh aktivitas di ruang terbuka dan ruang terbuka berpolusi serta pemberian antioksidan terhadap inflamasi paru-paru dan *mitochondrial biogenesis*.

Sejalan dengan tujuan umum tersebut maka secara spesifik tujuan khusus penelitian adalah menghasilkan data empirik mengenai pengaruh:

- 1) Aktivitas di ruang terbuka terhadap proses inflamasi paru-paru;
- 2) Aktivitas di ruang terbuka terhadap *mitochondrial biogenesis*;
- 3) Polusi udara terhadap proses inflamasi paru-paru;
- 4) Polusi udara terhadap *mitochondrial biogenesis*;
- 5) Pemberian ekstrak daun *Moringa oleifera* terhadap inflamasi paru-paru;
- 6) Pemberian ekstrak daun *Moringa oleifera* terhadap *mitochondrial biogenesis*;

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian diharapkan dapat bermanfaat baik secara teoretis maupun praktis.

1) Manfaat Teoretis

Secara teoretis, penelitian diharapkan dapat memperkaya khasanah keilmuan dalam bidang aktivitas fisik, olahraga dan kesehatan serta menambah informasi empirik mengenai pengaruh aktivitas di ruang terbuka dan ruang terbuka berpolusi serta pemberian antioksidan *Moringa oleifera* terhadap inflamasi paru-paru dan *mitochondrial biogenesis*.

2) Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian diharapkan bermanfaat bagi Universitas Pendidikan Indonesia, Program Studi Pendidikan Olahraga, Pendidikan Olahraga secara umum, peneliti selanjutnya, serta bagi kebijakan publik.

- (1) Bagi Universitas Pendidikan Indonesia, hasil penelitian diharapkan dapat makin memperkuat upaya untuk lebih memperhatikan lingkungan terutama dalam menunjang kebijakan Kampus sehat.

- (2) Bagi Program Studi Pendidikan Olahraga, hasil penelitian diharapkan dapat mempertajam rumusan kurikulum serta memperkuat aktivitas pembelajaran yang mendukung paradigma *Development through Sport*.
- (1) Bagi Pendidikan Olahraga, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi rujukan untuk lebih memperhatikan penyediaan dan penataan ruang terbuka sebagai salah satu sarana penunjang aktivitas fisik.
- (2) Bagi peneliti selanjutnya, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi guna melakukan penelitian serupa pada masa yang akan datang.
- (3) Bagi kebijakan publik, hasil penelitian diharapkan dapat mendukung kebijakan dalam hal perencanaan lokasi olahraga serta keberlanjutan dan kebijakan lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian disusun secara sistematis dalam lima bab. Bab I Pendahuluan, menguraikan latar belakang penelitian, identifikasi masalah penelitian, rumusan masalah dan pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bab II Kajian Pustaka berisi kerangka konseptual mengenai aktivitas fisik, antioksidan, *Moringa oleifera*, inflamasi, dan *mitochondrial biogenesis* paru-paru, yang dilengkapi dengan hasil penelitian terdahulu, kerangka berpikir, asumsi, serta hipotesis penelitian. Bab III Metode Penelitian yang mendeskripsikan pendekatan penelitian, desain penelitian, populasi dan sampel penelitian, definisi operasional variabel (DOV), prosedur penelitian dan teknik analisis data, serta etika penelitian. Bab IV Temuan dan Pembahasan yang merupakan analisis dan generalisasi temuan hasil penelitian disertai pembahasan. Bab V Penutup merupakan kesimpulan yang diakhiri dengan implikasi, rekomendasi, serta keterbatasan penelitian.