

**TESIS**

**PENGARUH LATIHAN PAGI DAN MALAM TERHADAP PERUBAHAN  
KADAR MALONDIALDEHID, INTERLEUKIN-6, DAN CREATIN KINASE  
PADA ATLET BULUTANGKIS KOTA MAKASSAR**

**THE EFFECT OF MORNING AND EVENING EXERCISE ON CHANGES  
MALONDIALDEHID, INTERLEUKIN-6, AND CREATIN KINASE LEVELS  
IN MAKASSAR BADMINTON ATHLETES**

**ANDI AINUN ZULKIAH SURUR**

**P062212004**



**KONSENTRASI FISILOGI  
PROGRAM STUDI ILMU BIOMEDIK  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**PENGARUH LATIHAN PAGI DAN MALAM TERHADAP PERUBAHAN KADAR  
MALONDIALDEHID, INTERLEUKIN-6, DAN CREATIN KINASE PADA ATLET  
BULUTANGKIS KOTA MAKASSAR**

**Tesis**

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

**Program Studi**

**Ilmu Biomedik**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ANDI AINUN ZULKIAH SURUR**

**P062212004**

Kepada

**PROGRAM STUDI ILMU BIOMEDIK  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**PENGARUH LATIHAN PAGI DAN MALAM TERHADAP PERUBAHAN KADAR  
MALONDIALDEHID, INTERLEUKIN-6, DAN CREATIN KINASE PADA ATLET  
BULUTANGKIS KOTA MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI AINUN ZULKIAH SURUR  
P062212004**

Telah dipertahankan di hadapan panitia ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Studi Magister Ilmu Biomedik  
Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin  
pada tanggal 25 Juli 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

**Menyetujui,**

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pendamping**

**dr. M. Arsyad Arsyad, MbiomedSc, Ph.D**  
NIP. 19760820 200212 1 003

**Dr. Nukhrwi Nawir, M.Kes, AIFO**  
19620610 198702 1 001

**Ketua Program Studi  
Magister Ilmu Biomedik**

**Dr. Rahmawati, Ph.D., Sp.PD-KHOM., FINASIM**  
NIP. 19680218 199903 2 002

**Dekan Sekolah Pascasarjana  
Universitas Hasanuddin**



**Prof. Bedu Sg. M.W., Ph.D., M.Med.Ed**  
NIP. 19661231 199503 1 006

## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andi Ainun Zulkiah Surur

NIM P062212004

Program Studi : Ilmu Biomedik

Konsentrasi : Fisiologi

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pengaruh Latihan Pagi dan Malam terhadap Perubahan Kadar Malondialdehid, Interleukin-6, dan Creatin Kinase pada Atlet Bulutangkis Kota Makassar” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing, dr. M.Aryadi Arsyad, MbiomedSc, Ph.D sebagai pembimbing utama dan DR. Nukhrawi Nawir, M.Kes, AIFO sebagai pembimbing pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka tesis ini.

Apabila dikemudian hari ternyata di dalam naskah tesis ini terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini merupakan hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi dari perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Juli 2023

Penulis



Andi Ainun Zulkiah Surur

## PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kepada *Allah Subhanahu Wata'ala* yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan hidayah-nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini dengan judul "**PENGARUH LATIHAN PAGI DAN MALAM TERHADAP PERUBAHAN KADAR MALONDIALDEHID, INTERLEUKIN-6, DAN CREATIN KINASE PADA ATLET BULUTANGKIS KOTA MAKASSAR**".Penulisan tesis ini merupakan salah satu persyaratan untuk mencapai gelar magister ilmu biomedik konsentrasi fisiologi di sekolah pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Dalam penulisan tesis ini, tentunya tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar dan **Yth. Prof. Dr. Budu, M.Med.Ed, Sp.M(K), Ph.D** selaku Dekan Sekolah Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin.
2. **Dr. Rahmawati.,Ph.D.,Sp.PD-KHOM., FINASIM** selaku ketua program studi ilmu biomedik Universitas Hasanuddin
3. **dr. M.Aryadi Arsyad, MbiomedSc, Ph.D** dan **Dr. Nukhrawi Nawir, M.Kes, AIFO** selaku komisi penasihat yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan dan motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan tesis ini sebaik mungkin dengan cepat dan tepat.
4. **Prof.Dr.H.Djohan Aras.,S.Ft., Physio., M.kes, Dr. Meutiah Mutmainnah A., S.Ft., Physio., M.kes** dan **Dr. Andi Rizky Arbaim Hasyar S.Ft., Physio** selaku tim penguji yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan masukan, arahan dan bimbingan kepada penulis.
5. **dr. Andi Ariyandy, Ph.D** selaku Ketua tim Hibah Penelitian Fundamental Kolaboratif Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk bergabung dalam tim penelitian.
6. **Wahyu Usman., S.Ft, Ftr** dan **Fadliana Utami., S.Ft, Physio** selaku teman sepembimbing yang telah membantu dan membersamai proses penelitian dan penulisan tesis ini.

7. Teman- teman **departemen FAAL** yang telah mewarnai proses perkuliahan dan selalu memberi motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini secepat dan sebaik mungkin.
8. Instalasi Laboratorium Penelitian (HUM-RC) Rumah Sakit Pendidikan Universitas Hasanuddin, Laboratorium RS TNI AL Jala Ammari, dan Laboratorium Farmasi Universitas Megarezky atas kerjasamanya serta bantuan fasilitas semasa melaksanakan penelitian penulis.
9. Persatuan Bulutangkis Seluruh Indonesia (PBSI) Makassar dan Gowa yang telah memfasilitasi penyediaan sampel penelitian penulis.

Akhir kata, penghargaan yang setinggi-tingginya dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dihaturkan kepada kedua orang tua tercinta, saudaraku tersayang dan keluarga besar As-Surur atas dukungan moril maupun materil serta doa yang yang tak pernah putus sehingga penulis mampu menyelesaikan lika-liku magister ini dalam waktu 1,5 tahun. Kedepannya, penulis berharap tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, bagi pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan dijadikan sebagai rujukan penelitian selanjutnya serta bermanfaat untuk semua orang.

Makassar, 06 Agustus 2023

Penulis

Andi Ainun Zulkiah Surur

## ABSTRAK

**Andi Ainun Zulkiah Surur.** *Pengaruh Latihan Pagi dan Malam terhadap Perubahan Kadar Malondialdehyde, Interleukin-6, dan Creatin Kinase pada Atlet Bulutangkis di Kota Makassar (dibimbing oleh Aryadi Arsyad dan Nukhrawi Nawir)*

Pemilihan waktu dalam berolahraga sangat penting agar mendapatkan manfaat yang maksimal dari latihan tersebut, khususnya pada olahraga bulutangkis. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kadar penanda oksidan, inflamasi serta kerusakan otot pada atlet bulutangkis setelah latihan pagi dengan latihan malam hari. Metode yang digunakan yaitu analitik observasional dengan desain *cross sectional*. Penelitian ini melibatkan 44 atlet bulutangkis yang kemudian dibagi menjadi 2 kelompok, kelompok pagi (n=22) dan kelompok malam (n=22). Sampel darah diambil 10 menit setelah latihan bulutangkis pagi dan malam. Selanjutnya, kadar serum malondialdehida (MDA) dan serum creatine kinase (CK) diukur menggunakan alat *spektrofotometri*, sedangkan serum interleukin-6 (IL-6) diukur menggunakan *Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA)*. Berdasarkan analisis statistik, hasil penelitian menunjukkan kadar MDA dan IL-6 meningkat secara signifikan pada kelompok latihan malam dibandingkan dengan kelompok latihan pagi ( $p < 0,05$ ). Sedangkan kadar CK pada kedua kelompok melebihi batas normal ( $p > 0,05$ ) dan tidak ditemukan perbedaan yang bermakna pada kelompok latihan pagi maupun kelompok latihan malam. Disimpulkan bahwa latihan bulutangkis yang dilakukan pada malam hari melepaskan lebih banyak oksidan dan sitokin inflamasi dibandingkan pagi hari. Namun, kedua waktu latihan tersebut sama-sama memicu terjadinya kerusakan otot.

**Kata Kunci :** *Bulutangkis, Interleukin-6, Creatin Kinase, Malondialdehida, Latihan pagi, Latihan Malam*

 <b>GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS</b>	
Abstrak ini telah diperiksa.  Tanggal : _____	Paraf Ketua / Sekretaris, 

## ABSTRACT

**Andi Ainun Zulkiah Surur:** *The Effect of Morning and Evening Exercise on Changes in Malondialdehyde, Interleukin-6, and Creatine Kinase Levels in Makassar City Badminton Athletes* (Supervised by **Aryadi Arsyad** and **Nukhrawi Nawir**)

Timing selection for exercising is crucial in order to obtain the maximum benefits of the exercise, especially intense exercise such as badminton. This study aimed to compare the oxidant levels, and the presence of inflammation and muscle damage in badminton athletes after badminton exercise that was carried out in the morning and the evening. This study involved 44 badminton athletes divided into 2 groups, morning group (n=22) and the evening group (n=22). Blood samples were drawn from subjects 10 minutes after morning and evening badminton exercise. Serum malondialdehyde (MDA) and serum *creatine kinase* (CK) levels were determined using spectrophotometry, while serum *interleukin-6* (IL-6) was obtained using *Enzyme Linked Immunosorbent Assay* (ELISA). The results showed that serum MDA and IL-6 of the evening group significantly increased compared to the morning group ( $p < 0,05$ ). However, levels CK serum of both groups exceeded normal range ( $p > 0,05$ ), and the increase was not significantly different between the morning and the evening exercise group. It was concluded that badminton exercise carried out at night released more oxidant and inflammation cytokine IL-6 than in the morning. However, both exercise times induced muscle damage at the same rate.

**Keywords :** *Badminton, Interleukin-6, Creatin Kinase, Malondialdehyde, Evening Exercise, Morning Exercise*

 <b>GUGUS PENJAMINAN MUTU (GPM) SEKOLAH PASCASARJANA UNHAS</b>	
Abstrak ini telah diperiksa.  Tanggal : _____	Paraf Ketua / Sekretaris, 

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN TESIS</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA AKHIR</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	xiv
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II</b> .....	5
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Tinjauan Terkait Bulutangkis .....	5
2.2. Tinjauan Terkait Latihan Pagi dan Malam .....	16
2.3. Tinjauan Terkait Kadar Oksidan .....	28
2.4. Tinjauan Terkait Kerusakan Otot .....	34
2.5. Tinjauan Terkait Inflamasi .....	38
2.6. KERANGKA TEORI .....	48
2.7. KERANGKA KONSEP .....	49
2.8. HIPOTESIS PENELITIAN .....	49
<b>BAB III</b> .....	50
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	50
3.1. Rancangan Penelitian .....	50
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	50
3.3. Populasi dan Sampel Penelitian .....	51
3.3.1. Populasi .....	51
3.3.2. Sampel dan Cara Pengambilan Sampel .....	51
3.3.3. Kriteria Penelitian .....	52
3.4.1. Variabel Bebas/ Independent .....	53
3.4.2. Variabel Terikat/ Dependensi .....	53

3.4.	Definisi Operational Variabel .....	53
3.6	Instrumen Penelitian .....	54
	3.6.1.Alat Penelitian.....	54
	3.6.2.Bahan Penelitian.....	55
3.7	Prosedur Penelitian.....	55
	1. Tahapan persiapan .....	55
	2. Tahap Penelitian .....	56
3.8	Alur Penelitian.....	59
3.9	Analisis Data .....	60
3.10	Etika Penelitian .....	60
<b>BAB IV</b>	.....	<b>62</b>
<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	.....	<b>62</b>
4.1.	Hasil Penelitian .....	62
	4.1.1.Karakteristik Sampel Penelitian.....	62
4.2.	Pembahasan.....	67
	4.2.1.Pengaruh Latihan Pagi dan Malam Terhadap Perubahan Kadar MDA pada Atlet Bulutangkis Junior .....	67
	4.2.2.Pengaruh Latihan Pagi dan Malam Terhadap Perubahan Kadar II-6 pada Atlet Bulutangkis Junior .....	70
	4.2.3.Pengaruh Latihan Pagi dan Malam Terhadap Perubahan Kadar CK pada Atlet Bulutangkis Junior .....	73
<b>BAB V</b>	.....	<b>78</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	<b>78</b>
5.1	Kesimpulan .....	78

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Intervensi dan perubahan kadar IL-6 .....	44
<b>Tabel 3. 1</b> Defenisi Operational Variabel .....	53
<b>Tabel 3. 2</b> Alat Penelitian.....	54
<b>Tabel 3. 3</b> bahan penelitian .....	55
<b>Tabel 4. 1</b> Karakteristik Sampel Atlet Bulutangkis Pagi.....	62
<b>Tabel 4. 2</b> Karakteristik sampel atlet bulutangkis malam .....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1.</b> Organ dan Jaringan yang Berdampak Akibat Exercise .....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Jalur Regulasi Neuroendokrin-Imun Setelah Latihan Resistensi .....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Skema Chrono-Exercise dan Efek Terhadap Ritme Sirkadian....	19
<b>Gambar 2. 4</b> Pengaruh Latihan Fisik Terhadap Perubahan Ritme Sirkadian....	20
<b>Gambar 2. 5</b> Sinkronisasi dan Penyesuaian Irama Sirkadian .....	21
<b>Gambar 2. 6</b> Pengaturan Jam Pusat dan Perifer .....	22
<b>Gambar 2. 7</b> Pola Konsentrasi Kortisol dalam Sehari .....	23
<b>Gambar 2. 8</b> Proses Regulasi Keseimbangan Panas .....	27
<b>Gambar 2. 9</b> Efek Latihan Terhadap Kadar ROS .....	30
<b>Gambar 2. 10</b> Efek ROS yang Akibat Olahraga Pada Otot Rangka .....	31
<b>Gambar 2. 11</b> Modifikasi Fisiologi Setelah Stimulasi pada Saraf Simpatik.....	39
<b>Gambar 2.12</b> Ilustrasi Tipe Sel Dalam Otot Rangka pada Saat Olahraga.....	40
<b>Gambar 2. 13</b> Langkah-Langkah yang Membentuk Inflamasi.....	41
<b>Gambar 2. 14</b> Manifestasi dan Hasil Akhir Peradangan. ....	43

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 4. 1</b> Uji Pengaruh Latihan Pagi dan Malam Terhadap Kadar MDA .....	64
<b>Grafik 4. 2</b> Uji Pengaruh Latihan Pagi dan Malam Terhadap Kadar IL-6 .....	65
<b>Grafik 4. 3</b> Uji Pengaruh Latihan Pagi dan Malam Terhadap Kadar CK .....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Kegiatan .....	87
Lampiran 2 Hasil Uji statistik .....	87
Lampiran 3 Surat persetujuan etik .....	106
Lampiran 4 Surat keterangan selesai meneliti .....	107
Lampiran 5 Daftar Riwayat Hidup .....	108

## DAFTAR SINGKATAN

MDA	: malondialdehid
ROS	: Reaktif Oksigen Spesies
CK	: Creatin Kinase
IL-6	: Interleukin 6
PB	: Perkumpulan Bulutangkis
GOR	: Gelanggang Olahraga
ACSM	: <i>American College of Sports Medicine</i>
ATP	: <i>Adenosine Trifosfat</i>
IBF	: internasional Federation Badminton
O <sub>2</sub>	: Oksigen
EPOC	: <i>excess postexercise oxygen consumption</i>
SCN	: suprachiasmatic nukleus
H <sub>2</sub> S	: hidrogen sulfida
SOD	: superoksida dismutase
HSP	: heat shock protein
TNF	: tumor necrosis factor
PDGF	: Platelet Derived Growth Factor (PDGF)
TCA	: Trichloroacetic Acid
TBA	: Thiobarbituric acid
SiO <sub>2</sub>	: <i>Silicadioxide</i>
EMG	: <i>electromyographic</i>
ROM	: <i>range of motion</i>
DOMS	: Delayed Onset Muscle Soreness
NADPH	: Nikotinamid Adenin Denukleotid Fosfat
XO	: Xantin Oksidase

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Olahraga bulutangkis merupakan jenis olahraga yang populer di berbagai dunia. Beberapa tahun terakhir berbagai medali diperoleh Indonesia dalam olimpiade cabang bulutangkis dan secara tidak langsung menambah popularitas. Bulutangkis, merupakan jenis olahraga yang mudah dilakukan oleh berbagai kalangan. Olahraga ini memerlukan sinergi antara kelincahan, kekuatan otot, kecepatan, dan koordinasi motorik yang baik antara ekstremitas atas dan bawah untuk mencapai peningkatan performa. Namun, pemilihan teknik dan waktu yang tepat untuk berolahraga perlu diperhatikan agar didapatkan manfaat yang maksimal.

Seiring bertambahnya zaman, masyarakat mulai menyadari pentingnya berolahraga untuk kesehatan dan peningkatan performa. Namun, karena padatnya aktivitas menyebabkan sebagian masyarakat kesulitan dalam memilih waktu yang tepat untuk melakukan olahraga baik pagi atau siang hari, sehingga olahraga malam biasanya menjadi alternatif. Namun, secara fisiologis waktu yang tepat untuk beraktivitas adalah pagi dan siang hari, sedangkan malam hari merupakan waktu untuk beristirahat (Jensen *et al.*, 2016; Andriana and Ashadi, 2019).

Berolahraga di malam hari dapat meningkatkan produksi adrenalin yang akan mempengaruhi peningkatan denyut nadi dan suhu tubuh, sehingga menyulitkan seseorang untuk memulai tidur (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020). Dalam penelitian yang dilakukan oleh laily (2019) mengklaim *bahwa* kelompok yang melakukan aktivitas berat pada malam hari memiliki nilai rata-rata kualitas tidur 25,9, sedangkan kelompok yang melakukan aktivitas sedang pada pagi hari memiliki nilai rata-rata 32. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kualitas *tidur seseorang yang* bersepeda dengan intensitas sedang pada pagi hari lebih baik dibandingkan dengan bersepeda dengan intensitas tinggi pada malam hari (Andriana and Ashadi, 2019). Olahraga pada malam hari dapat mengganggu kualitas tidur seseorang, kemudian menyebabkan terganggunya ritme sirkadian yang dapat meningkatkan radikal

bebas dalam tubuh. Hal ini disebabkan karena penurunan kadar melatonin yang berfungsi sebagai antioksidan dan kemudian menyebabkan peningkatan *Reaktif Oksigen Spesies* (ROS) di dalam sel (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020).

Olahraga berat atau tidak rutin (akut) dapat menyebabkan kelelahan dan peningkatan ROS yang dapat memicu terjadinya stress oksidatif dan berdampak negatif terhadap kesehatan dan performa atlet (Sinaga, 2016; Wang *et al.*, 2021). Penelitian yang dilakukan mushab (2020) menyimpulkan bahwa terjadi peningkatan kadar MDA pada malam hari dibandingkan dengan kadar MDA pagi hari pada orang yang tidak terlatih dan berdasarkan hasil uji statistik menunjukkan terdapat perbedaan signifikan dengan nilai  $p=0,021$  ( $p<0,05$ ). Peningkatan MDA merupakan salah satu penanda peningkatan kadar oksidan dalam tubuh khususnya setelah latihan pada malam hari yang disebabkan karena peningkatan ROS dan memicu terjadinya kerusakan otot dan inflamasi (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020).

Berdasarkan penjelasan sebelumnya bahwa aktivitas olahraga yang dilakukan secara berlebihan dan pemilihan waktu berolahraga yang kurang tepat bisa berdampak negative terhadap peningkatan ROS. Selain itu olahraga pada malam hari dapat menyebabkan penurunan konsentrasi melatonin yang memicu terjadinya kerusakan jaringan, terjadinya peroksidasi lipid yang akan meningkatkan kadar oksidan (Qadar punagi, Azis and Mudassir, 2013; Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020). Selanjutnya, Setelah melakukan observasi di beberapa GOR di kota Makassar dan Gowa ditemukan bahwa peminat olahraga bulutangkis pada malam hari jauh lebih banyak dari pagi hari, dan beberapa keluhan atlet setelah berolahraga malam seperti nyeri otot, mudah cedera dan gangguan tidur menjadi daya tarik tersendiri bagi peneliti. Oleh karena itu, peneliti ingin melihat lebih lanjut terkait pengaruh latihan pagi dan malam yang dikaitkan dengan perubahan kadar kadar oksidan, inflamasi dan kerusakan otot pasca berolahraga pada atlet bulutangkis.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Apakah ada perbedaan kadar malondialdehid, setelah berlatih pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis di kota makassar?
2. Apakah ada perbedaan kadar interleukin-6, setelah berlatih pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis di kota makassar ?
3. Apakah ada perbedaan kadar creatin kinase, setelah berlatih pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis di kota makassar ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Diketahui perbedaan kadar malondialdehid setelah berlatih pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis di kota makassar
2. Diketahui perbedaan kadar interleukin-6 setelah berlatih pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis di kota makassar
3. Diketahui perbedaan kadar creatin kinase setelah berlatih pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis di kota makassar

## 1.4. Manfaat Penelitian

### a. Manfaat bagi Instansi

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam memberi informasi kepada para atlet, coach dan masyarakat umum terkait pentingnya pemilihan waktu yang tepat dalam berolahraga untuk menghindari peningkatan kadar oksidan dalam tubuh yang memicu terjadinya inflamasi dan kerusakan otot.

### b. Manfaat bagi fisioterapis

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam memberikan tambahan referensi kepada teman sejawat khususnya fisioterapis olahraga terkait pentingnya pemilihan waktu yang tepat dalam berolahraga untuk menghindari peningkatan MDA, IL-6, dan CK. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan teori yang sudah ada terkait desain dosis latihan untuk para atlet dan pemberian penanganan saat terjadi peningkatan *Reaktif Oksigen Spesies* (ROS) dan inflamasi serta upaya preventif yang tepat

untuk menghindari peningkatan ROS setelah berolahraga khususnya malam hari.

c. Manfaat bagi Keilmuan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan lebih lanjut. Dengan memperkaya data dan informasi terkait perubahan kadar malondialdehid, interleukin-6, dan creatin kinase setelah melakukan latihan pagi dan malam hari pada atlet bulutangkis.

d. Manfaat bagi Peneliti Kedepan

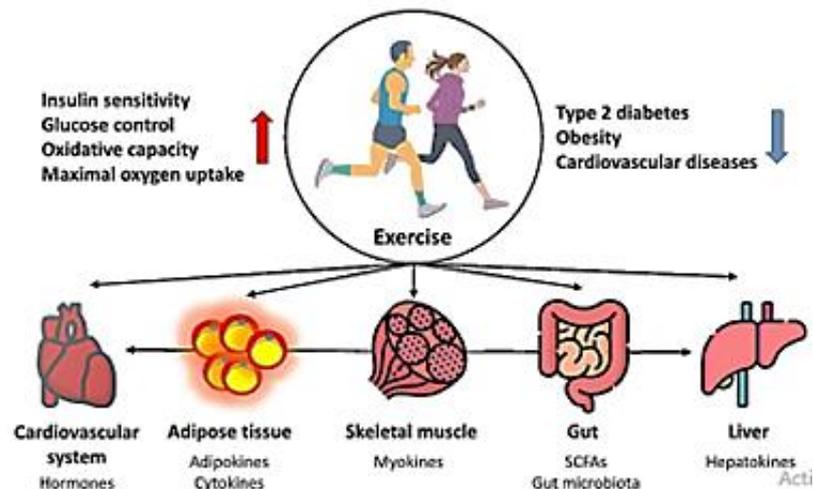
Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai sumber data ilmiah dan referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai perbandingan olahraga pagi dan malam terhadap peningkatan MDA, interleukin-6 dan Creatin Kinase pada atlet bulutangkis.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Terkait Bulutangkis

Olahraga adalah jenis aktivitas yang melibatkan otot rangka dengan gerakan teratur dan berulang untuk meningkatkan kebugaran. Ketika seseorang dapat melakukan aktivitas fisik tanpa kelelahan yang berarti maka kebugaran fisiknya baik. Jenis olahraga yang banyak dipilih oleh masyarakat yaitu olahraga permainan karena selain bermanfaat untuk tubuh, juga memiliki dampak sosial, ekonomi bisnis dan rekreasi misalnya bola basket, futsal, bulutangkis, tenis lapangan, dan sebagainya (Thompson *et al.*, 2021). Olahraga merupakan strategi yang efektif untuk mencegah dan menurunkan obesitas serta mengurangi penyakit metabolik. Olahraga juga dapat meningkatkan kebutuhan metabolisme dan adaptasi dalam tubuh. Olahraga memiliki banyak manfaat untuk kesehatan yaitu mengurangi insiden dan keparahan penyakit metabolik, meningkatkan harapan hidup sehat karena dapat memberikan banyak manfaat metabolik melalui hati, jaringan adiposa, dan pancreas (Kim *et al.*, 2022; Mode *et al.*, 2023).



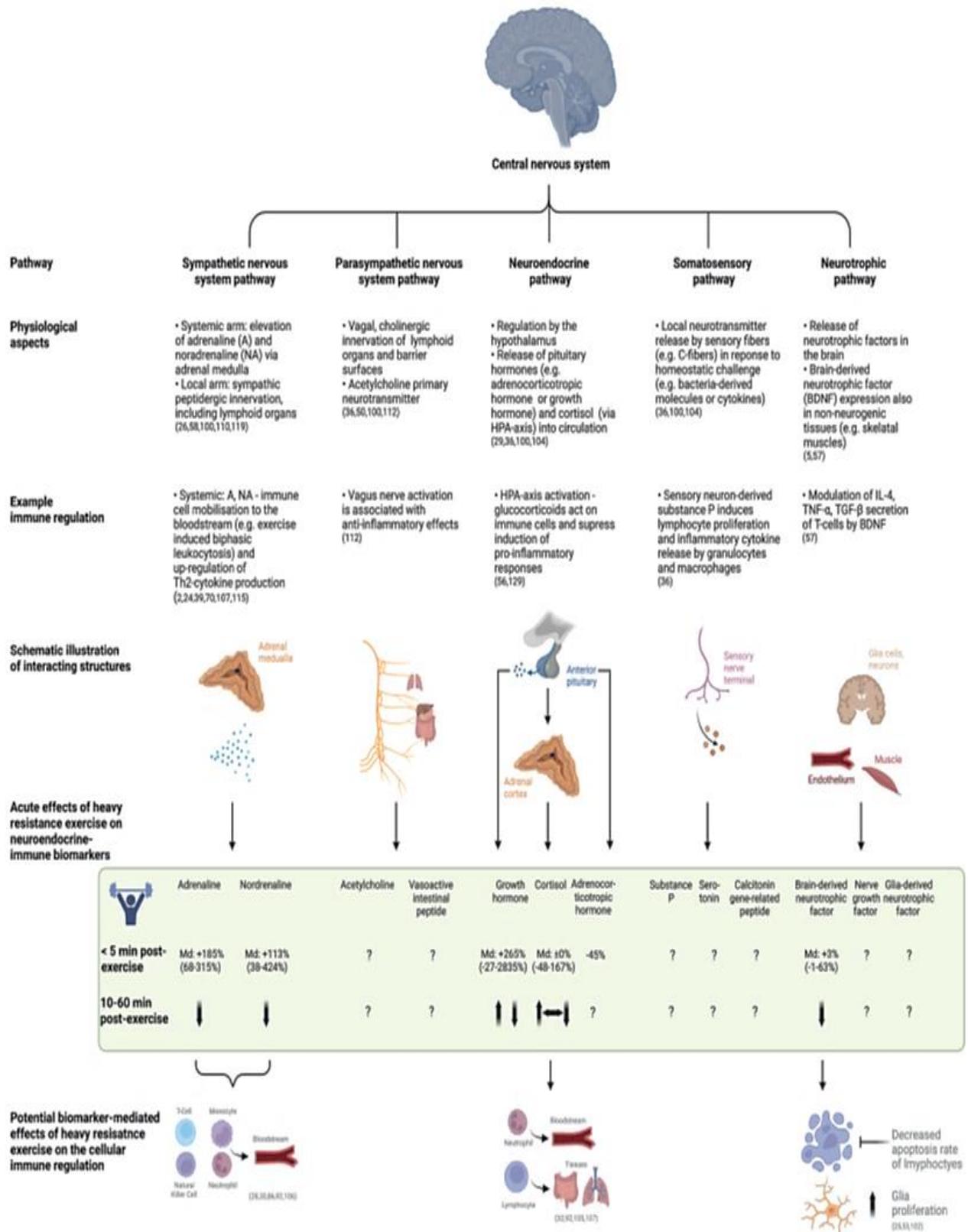
**Gambar 2. 1.** Organ dan jaringan yang berdampak akibat exercise  
**Sumber :** (Kim *et al.*, 2022)

Aktivitas olahraga yang berlebihan dapat menyebabkan gangguan produksi radikal bebas dan antioksidan, yang dikenal dengan kondisi stres oksidatif. Ketika seseorang melakukan aktivitas fisik maksimal, maka penggunaan

oksigen dalam tubuh dapat meningkat hingga 20x lipat. Sementara itu, konsumsi oksigen dalam serat otot 100 kali lebih banyak. Produksi radikal bebas yang berlebihan akibat peningkatan konsumsi oksigen akhirnya dapat menimbulkan kerusakan sel (Suryani, 2019). Selain itu, aktivitas fisik juga dapat memengaruhi kadar hemoglobin dalam darah. Pada individu yang rutin melakukan olahraga maka kadar hemoglobinnya akan sedikit meningkat disebabkan karena peningkatan kebutuhan oksigen pada jaringan atau sel ketika beraktivitas (Yunus, 2020).

Aktivitas fisik merupakan stimulus yang menuntut sumber daya fisiologis dan psikologis. Respon imunologi terhadap stresor terutama ditandai dengan redistribusi jangka pendek sel imun ke dalam sirkulasi, infiltrasi jaringan dan peningkatan kadar sitokin yang bersirkulasi. Respons dari regulasi biomarker neuroendokrin terhadap stresor olahraga akut beragam dan bergantung pada beberapa variabel program latihan seperti volume, intensitas, durasi, dan teknik. Pada latihan resisten, telah ditunjukkan bahwa, secara umum latihan dengan intensitas tinggi, volume tinggi dan interval istirahat pendek menyebabkan peningkatan sirkulasi biomarker. Terutama, peningkatan hormon stres seperti adrenalin, noradrenalin dan kortisol serta hormon anabolik seperti growth hormon dan neurotrophins merupakan suatu respons terhadap latihan resistance akut. Bukti yang ada menunjukkan bahwa pada tingkat glikolisis anaerobic yang lebih tinggi (misalnya, selama latihan resistance) menyebabkan peningkatan kortisol yang lebih besar karena hubungannya dengan konsentrasi laktat. Peningkatan akut kadar katekolamin sebagai respons terhadap latihan resistensi sejalan dengan hasil penelitian yang menyebabkan pelepasan katekolamin tidak hanya sebagai respons terhadap stres fisik seperti latihan aerobik tetapi juga sebagai akibat dari stres kognitif (Haunhorst *et al.*, 2022).

Adaptasi terhadap olahraga adalah proses kompleks yang menyebabkan beragam perubahan dalam respons transkripsional dan translasi, fungsi mitokondria, regulasi metabolik, dan jalur pensinyalan yang mengatur perubahan ini. Secara singkat, respons molekuler dan metabolik terhadap olahraga dapat dikategorikan menjadi olahraga akut dan kronis. Latihan akut dapat mengubah ekspresi berbagai gen dan fosforilasi protein untuk mendorong adaptasi otot (Kim *et al.*, 2022).



**Gambar 2. 2** Jalur regulasi neuroendokrin-imun setelah latihan resistensi  
**Sumber:** (Haunhorst *et al.*, 2022)

Efek akut latihan pada organ perifer utama yang terlibat dalam regulasi homeostasis energi adalah otot memobilisasi simpanan glukosa dan asam lemak serta mengambil glukosa dan asam lemak dari plasma untuk memenuhi kebutuhan energi. Dalam latihan endurance, pada jaringan adiposa dan hati masing-masing memobilisasi asam lemak dan mensintesis glukosa, untuk menjaga otot tetap berkontraksi. Namun, respons latihan akut tidak cukup untuk mengubah fenotip otot. Sebaliknya, adaptasi fenotipik sebagai respons terhadap latihan olahraga kronis membutuhkan akumulasi rangsangan yang diinduksi oleh olahraga akut berulang. Latihan olahraga meningkatkan penyerapan oksigen maksimal, menurunkan detak jantung istirahat dan tekanan darah, serta meningkatkan massa otot (Kim *et al.*, 2022).

Peningkatan konsentrasi adrenalin dan noradrenalin menginduksi peningkatan denyut jantung, tekanan darah, kadar glukosa serum serta bronkodilatasi. Mirip dengan respons katekolamin akut, peningkatan konsentrasi GH sesaat setelah latihan dilaporkan oleh semua penelitian. Secara khusus, ini mengarah pada peningkatan yang cukup besar dalam konsentrasi adrenalin, noradrenalin, dan GH sesaat setelah latihan selesai. Perubahan kadar kortisol dilaporkan menunjukkan hasil yang kurang homogen dan tampaknya lebih sensitif terhadap konfigurasi skema latihan atau karakteristik subjek individu. Durasi waktu istirahat antara set tampaknya menjadi faktor yang paling berpengaruh untuk besarnya respon kortisol dan GH, karena waktu istirahat yang lebih pendek cenderung menghasilkan perubahan yang lebih besar. Pada pria menunjukkan peningkatan katekolamin yang lebih besar daripada wanita. Secara keseluruhan, biomarker yang diselidiki cenderung kembali ke garis dasar satu jam setelah selesai latihan, meskipun pemulihan kortisol tidak menunjukkan pola yang jelas. Khususnya, kadar katekolamin menunjukkan pemulihan tercepat (Haunhorst *et al.*, 2022).

Bulutangkis merupakan jenis olahraga yang dimainkan menggunakan raket oleh dua orang (untuk tunggal) atau dua pasangan (untuk ganda) dan. Sejarah bulutangkis berkembang di Mesir kuno sekitar 2000 tahun lalu. Pada zaman dahulu bulutangkis diperkirakan ialah sebuah permainan Tionghoa yang menggunakan bulu tanpa raket. Misi dalam permainan ini yaitu menjaga agar bulu tidak jatuh ke tanah tanpa menggunakan tangan. Permainan Battledores dan Shuttlecocks sangat populer di Inggris pada zaman dahulu. Anak kecil pada zaman itu menggunakan dayung (Battledores) dan menjaga *cock tidak* jatuh ke

tanah. Dalam sejarah bulutangkis, Permainan ini dibawa oleh Inggris ke Jepang, Cina, dan Thailand. Selanjutnya, menjadi mainan favorit anak kecil di wilayah tersebut. Pada abad ke-19, tentara Britania di Pune, India mencetuskan pertandingan bulutangkis yang kemudian dikenal dengan permainan Poona pada masa itu (Iskandar, 2018).

Pada rapat Federasi internasional bulutangkis (IBF) di Madrid, Spanyol tahun 2006, nama federasi internasional Bulutangkis diubah jadi Bulutangkis World Federation (BWF) dan disetujui oleh 206 delegasi yang hadir. Salah satu negara yang sangat diperhitungkan dalam cabang olahraga ini, yaitu Indonesia. Terbukti dari perolehan medali emas dalam berbagai olimpiade dari tahun ketahun serta beberapa atlet legendaris yang turut mengharumkan Indonesia di kancah internasional (Iskandar, 2018).

Jenis-Jenis Olahraga Berdasarkan Pembentukan Energi :

#### **A. Olahraga Aerobik**

Menurut *American College of Sports Medicine (ACSM)*, olahraga aerobik merupakan aktivitas fisik yang menggunakan kelompok otot besar, teratur dan dipertahankan terus menerus. Jenis olahraga ini menggunakan metabolisme aerob dalam menghasilkan energi dengan bentuk adenosin trifosfat (ATP) dari asam amino, karbohidrat dan asam lemak. Contoh olahraga aerobik adalah jogging (lari jarak jauh), renang, jalan, bersepeda, menari, (Thompson *et al.*, 2021).

Bulutangkis adalah olahraga menggunakan raket yang menuntut kekuatan fisik karena sering melibatkan serangan aktivitas dengan intensitas tinggi, dan memerlukan keterampilan yang kompleks terkait kecepatan, perubahan arah dan kemampuan melompat yang berulang. Dalam pertandingan terjadi peningkatan penggunaan aerobik energi pada atlet dibandingkan dgn latihan biasa. Pada saat berolahraga bulutangkis terjadi pola beban jangka pendek, terutama saat atlet mengikuti kemudian memukul *cock* dan sambil menanti *cock* tersebut kembali kearah pemain. Pola ini berlangsung beberapa detik. Interval kedua terjadi saat *shuttlecock* diatur dan dipukul kembali. Jangka waktu tersebut berlangsung dari 30 detik hingga 2 menit, sedangkan waktu istirahat bervariasi (Fu *et al.*, 2021).

## B. Olahraga Anaerobik

Olahraga anaerob adalah aktivitas fisik yang dilakukan dengan cepat dan dalam waktu singkat tanpa menggunakan oksigen sebagai sumber energi. Pembentukan ATP dilakukan melalui proses glikolisis dan fermentasi. ATP yang dihasilkan dalam olahraga ini, jauh lebih sedikit daripada olahraga aerobik tetapi menyebabkan zat sisa berupa asam laktat dalam otot rangka. Contoh olahraga anaerobik yaitu lari sprint, angkat beban, dan sebagainya (Thompson *et al.*, 2021).

Sistem anaerobic atau sering disebut sistem asam laktat mendapatkan energi ATP dengan cepat melalui penggunaan glukosa sebagai bahan bakar, sistem energi ini memberi kekuatan pada otot mulai dari sepuluh hingga tiga puluh detik untuk aktivitas yang intens. Asam laktat adalah produk sampingan dari sistem ini, dan ini dapat menyebabkan kram otot dan rasa tidak nyaman; sebagai kelelahan, ada penurunan yang cepat dalam kinerja (Chamari and phadulo, 2015).

Sistem energi yang digunakan melalui ATP-PC (ATP-kreatin fosfat (ATP-CP) dan sistem asam laktat tanpa menggunakan oksigen. Sistem ATP-PC menyediakan sumber energi langsung untuk aktivitas intensitas tinggi misalnya bulutangkis. Sistem ini hanya dapat memberikan energi selama 10 detik dan tubuh membutuhkan waktu pemulihan sekitar 20 detik sebelum intensitas dapat diulang. Kemudian, Sistem asam laktat menyediakan suplai energi untuk aktivitas dengan intensitas tinggi berkisar antara 2-3 menit (aydin, 2018).

Setelah berolahraga, seseorang akan bernafas lebih cepat, hal ini disebabkan karena adanya peningkatan kebutuhan untuk penyerapan O<sub>2</sub> selama proses recovery setelah berolahraga (*excess postexercise oxygen consumption*, atau EPOC) hal ini disebabkan oleh berbagai faktor salah satunya yaitu menutupi kekurangan oksigen selama berolahraga. Selama olahraga, penyimpanan kreatin fosfat dalam otot yang aktif berkurang, terjadi penumpukan asam laktat dan berkurangnya simpanan glikogen. Efek dari hal ini bergantung pada intensitas dan durasi beraktivitas. Oksigen sangat dibutuhkan untuk pemulihan sistem energi. Selama proses pemulihan, akan dihasilkan ATP yang melalui proses fosforilasi oksidatif dengan menggunakan Oksigen yang baru diperoleh melalui peningkatan intensitas pengambilan nafas setelah olahraga selesai. Selanjutnya, ATP ini digunakan untuk menyintesis

kembali kreatin fosfat untuk mengembalikan cadangan ATP. Hal ini dapat diselesaikan dalam beberapa menit. Selanjutnya, semua asam laktat yang menumpuk di dalam tubuh kemudian diubah menjadi asam piruvat dan sebagian digunakan oleh sistem fosforilasi oksidatif untuk menghasilkan ATP. Sisa piruvat diubah kembali menjadi glukosa oleh hati yang kemudian digunakan untuk mengganti simpanan glikogen yang terkuras dari otot dan hati selama berolahraga. Reaksi yang melibatkan piruvat akan berlangsung selama beberapa jam dan memerlukan oksigen dalam prosesnya. *Excess postexercise oxygen consumption* (EPOC) membantu menyediakan kebutuhan oksigen dalam proses pemulihan sistem fosfokreatin, pembersihan asam laktat, dan proses pemulihan simpanan glikogen (lauralee, 2018).

Terdapat jenis olahraga gabungan antara anaerobik-aerobik. Energi pertama yang dibutuhkan saat bermain futsal adalah anaerob. Pada cara anaerobik, energi yang dibutuhkan berasal dari proses fosfokreatin dan sistem asam laktat, Fosfokreatin merupakan penyimpan energi yang penting untuk sintesis ATP. Phosphocreatine (juga disebut creatine phosphate) adalah senyawa kimia lain yang memiliki ikatan fosfat berenergi tinggi. ATP yang terbentuk dari glikolisis dan fosforilasi oksidatif bereaksi dengan kreatin membentuk ADP dan fosforilkolin dalam jumlah besar. Jumlah gabungan ATP sel dan fosfokreatin sel disebut sistem energi fosfagen. Keduanya bersama-sama dapat menghasilkan tenaga otot maksimal selama 8 hingga 10 detik. Dengan demikian, energi dari sistem phosphagen digunakan untuk ledakan kekuatan otot yang maksimal. Selama berolahraga, reaksi ini dibalik untuk mempertahankan produksi ATP, yang merupakan sumber energi siap pakai untuk kontraksi otot. Selama berolahraga, kebutuhan kalori otot pada awalnya dipenuhi oleh glikogenolisis di otot dan peningkatan penyerapan glukosa. Glikogen yang disimpan di dalam otot dapat dipecah menjadi glukosa dan kemudian digunakan untuk energi.

Selama glikolisis, setiap molekul glukosa dipecah menjadi molekul asam piruvat, dan energi dilepaskan untuk membentuk empat molekul ATP untuk setiap molekul glukosa awal. Biasanya, asam piruvat akan masuk ke dalam mitokondria sel otot dan bereaksi dengan oksigen membentuk lebih banyak molekul ATP. Namun, dengan tidak adanya oksigen yang cukup untuk melakukan metabolisme glukosa tahap kedua (tahap oksidatif), sebagian besar

asam piruvat kemudian akan diubah menjadi asam laktat yang berdifusi keluar dari sel otot ke dalam cairan interstisial darah. Oleh karena itu, banyak glikogen otot berubah menjadi asam laktat. Karakteristik lain dari sistem asam glikogen-laktat adalah dapat membentuk molekul ATP sekitar 2,5 kali lebih cepat daripada mekanisme oksidatif mitokondria. Oleh karena itu, ketika sejumlah besar ATP diperlukan untuk periode kontraksi otot yang pendek hingga sedang, mekanisme glikolisis anaerobik ini dapat digunakan sebagai sumber energi yang cepat. Namun, kecepatannya hanya setengah dari kecepatan sistem fosfagen (Ganong, 2012)

Dalam permainan bulutangkis dibutuhkan persiapan yang memadai. Mulai dari teknik pukulan, kemampuan membaca taktik dan strategi, kemampuan membaca kekuatan lawan, letak kelemahan lawan dan kondisi fisik lawannya. Selain itu, kondisi fisik maupun mental juga memerlukan persiapan yang matang karena hal ini merupakan salah satu penunjang dalam pencapaian prestasi atlet bulutangkis. Hal ini juga dipengaruhi oleh pemilihan teknik, taktik, kondisi fisik, kekuatan otot, daya tahan, fleksibilitas, kelincahan, kecepatan, dan koordinasi gerak yang saling mendukung. Hal tersebut sangat dibutuhkan dapat bergerak secara leluasa dan menguasai setiap sudut lapangan selama proses pertandingan (Nugroho, 2015).

Beberapa kemampuan dasar yang dibutuhkan dalam permainan bulutangkis :

- a. Kekuatan (*strength*), adalah ketangkasan seseorang dalam menerima beban menggunakan otot untuk sewaktu bekerja.
- b. Daya tahan (*endurance*), adalah ketangkasan seseorang dalam bekerja dengan waktu yang relatif lama tetapi tidak mengalami kelelahan.
- c. Daya otot (*muscular power*), kemampuan seseorang dalam mengerahkan kekuatan maksimum dalam waktu singkat.
- d. Kecepatan (*speed*), kesanggupan untuk mengerjakan gerakan yang sinergis dalam waktu singkat.
- e. Daya lentur (*flexibility*), kemampuan dalam menyesuaikan segala aktivitas dengan jangkauan yang luas.
- f. Kelincahan (*agility*), kesanggupan seseorang dalam mengubah posisi dengan cepat dan tepat.
- g. Koordinasi (*coordination*), kesanggupan dalam mengintegrasikan berbagai gerakan ke dalam pola gerakan tunggal secara efektif.

- h. Keseimbangan (*balance*), kesanggupan seseorang mengendalikan tubuh agar tetap stabil.

### **Program Latihan Bulutangkis**

Menurut persatuan bulutangkis seluruh indonesia (PBSI) program dan aplikasi pelatihan fisik bulutangkis harus dirancang melalui beberapa tahapan: Persiapan fisik umum yang bertujuan meningkatkan kemampuan kerja organ tubuh, sehingga memudahkan upaya pembinaan dan peningkatan semua aspek pelatihan pada tahap berikutnya dan persiapan fisik khusus bertujuan meningkatkan kemampuan fisik dan gerak yang lebih baik menuju pertandingan. Teknik-teknik latihan bulutangkis menurut PBSI, sebagai berikut:

#### **1. Sistem Pelatihan Fisik Umum**

Persiapan fisik umum yang bertujuan meningkatkan kemampuan kerja organ tubuh, sehingga memudahkan upaya pembinaan dan peningkatan semua aspek pelatihan pada tahap berikutnya. Cara terbaik untuk mempersiapkan kondisi fisik umum pemain dengan memberikan beberapa program khusus, yaitu:

##### **1). Program Latihan Lari**

Latihan lari sangat penting dan baik untuk mengasah kemampuan kerja jantung, paru-paru, dan kekuatan tungkai. Membiasakan pemain berlatih lari selama 40-60 menit tanpa berhenti, yang dilakukan 3-4 kali seminggu, sangat baik untuk membina kemampuan daya tahan aerobik dan kebugaran umum pemain.

##### **2). Program Latihan perengangan (stretching)**

Latihan peregangan dilakukan di seluruh bagian tubuh dan persendian Selain itu, latihan peregangan sebaiknya diselingi dengan gerakan untuk memperkuat otot bagian atas dan bawah yang dilakukan secara bergantian.

##### **3). Program Latihan Loncat Tali**

Latihan ini sangat baik untuk meningkatkan daya tahan, kelincahan kaki, dan kecepatan serta melatih kemampuan gerak pergelangan tangan lebih lentur dan kuat. Proses latihan dapat dilakukan dengan loncat satu kaki secara bergantian (seperti lari biasa), loncat dua kaki, dan bentuk variasi yang lain.

#### 4). Program Latihan Gabungan

Model atau sistem pelatihan ini adalah menggunakan berbagai alat bantu seperti bangku, tiang, tongkat, tali, bola, dan sebagainya. Tujuan latihan ini adalah melatih dan meningkatkan kemampuan dan keterampilan gerak. Pelatih harus cermat dan terampil menciptakan rangkaian gerak yang hubungannya dengan gerakan-gerakan dalam permainan bulutangkis, di samping memberikan prioritas pada pembinaan aspek-aspek kelincahan, dan koordinasi gerak yang memang dibutuhkan dalam bulutangkis.

#### 5). Latihan Pemanasan

Latihan pemanasan yang dilakukan dengan teknik yang benar akan memberikan pengaruh positif pada proses kerja organ tubuh, mekanisme peredaran darah, dan pernapasan. Di samping itu, sangat penting untuk menghindari terjadinya berbagai cedera otot, persendian, dan fungsi-fungsi tubuh lainnya. Pada umumnya latihan pemanasan yang sering dilakukan, sebagai berikut :

- a. Lari jarak pendek yang bervariasi seperti lari sambil angkat paha/lutut, lari mundur, lari maju dan ke samping.
- b. Melakukan gerakan-gerakan senam yang bersifat meregangkan otot tungkai, paha belakang, depan, lengan, pergelangan kaki, pinggang, otot bahu.
- c. Kualitas stretching harus dilakukan dengan pelan sampai terasa terjadi proses peregangan pada bagian otot dan persendian yang dilatih. Hindari melakukan gerakan bersamaan dan tidak berirama yang dapat menyebabkan rasa sakit pada otot atau persendian.

#### 6). Latihan Pendinginan

Latihan ini dilakukan setelah program latihan selesai dilaksanakan sebagai upaya agar bagian otot yang bekerja berat tadi kembali pada posisi rileks dan tidak kaku. Bentuk latihannya adalah senam dan gerakan meregang. Kualitas latihan meregang, khususnya untuk otot besar seperti paha belakang dan depan, pinggang, punggung, otot lengan, bahu, dada, dan berbagai persendian tubuh.

## 2. Sistem Pelatihan Fisik Khusus

Pelatihan fisik bulutangkis dituntut untuk memahami dan mengetahui secara spesifik kebutuhan gerakan olahraga. Bahkan harus mengetahui proses fisiologis kinerja otot, sistem energi, dan mekanisme gerak yang terjadi dalam permainan bulutangkis. Atas dasar pengetahuan, pelatih akan mampu merancang bentuk-bentuk latihan fisik secara spesifik, sesuai kebutuhan pemain.

### 1) Latihan Daya Tahan (Aerobik dan Anaerobik)

Kemampuan daya tahan dan stamina dapat dikembangkan melalui kegiatan lari dan gerakan lain yang memiliki nilai aerobik. Biasakan pemain menyenangi latihan lari selama 40-60 menit dengan kecepatan yang bervariasi. Tujuan latihan adalah meningkatkan kemampuan daya tahan aerobik dan daya tahan otot, sehingga pemain dipacu untuk berlari dan bergerak dalam waktu lama dan tidak mengalami kelelahan yang berarti. Selanjutnya proses latihan lari ditingkatkan kualitas frekuensi, intensitas, dan kecepatan, yang akan berpengaruh terjadinya proses anaerobik (stamina), sehingga pemain mampu bergerak cepat dalam tempo lama dengan gerakan yang tetap konsisten dan harmonis.

### 2) Latihan Kekuatan

Pemain bulutangkis sangat membutuhkan aspek kekuatan. Berdasarkan analisis dan cukup dominan pemain melakukan gerakan-gerakan seperti melompat ke depan, ke belakang, ke samping, memukul sambil loncat, dan melakukan langkah lebar. Semua gerakan membutuhkan kekuatan otot dengan kualitas gerak yang efisien.

Cara terbaik untuk meningkatkan kemampuan kekuatan adalah berlatih menggunakan beban atau latihan beban (*weight training*). Sebaiknya sebelum melakukan program latihan beban sesungguhnya, disarankan agar pemain lebih dulu mengenal berbagai bentuk gerakan seperti:

- a. mendorong (*push up, pull up*)
- b. bangun tidur, angkat kaki
- c. memperkuat otot punggung, pinggang
- d. jongkok berdiri untuk membina kekuatan tungkai
- e. loncat-loncat di tempat atau sambil bergerak.

Proses selanjutnya adalah meningkatkan kualitas geraknya dengan menggunakan beban (*weight training*) yang sebenarnya dan dianjurkan untuk

tidak berlatih loncat di tempat yang keras karena akan berdampak terjadinya sakit, cedera pada bagian lutut, dan pinggang.

### 3). Latihan Kecepatan

Aspek kecepatan dalam bulutangkis sangat penting, pemain harus bergerak dengan cepat untuk menutup setiap sudut-sudut lapangan sambil menjangkau atau memukul kok dengan cepat. Cara untuk bergerak cepat adalah melatih kecepatan tungkai/kaki. Aspek kecepatan dalam bulutangkis juga bermakna pemain harus cekatan dalam mengubah arah gerak dengan tiba-tiba, tanpa kehilangan momen keseimbangan tubuh (agilitas). Bentuk-bentuk latihannya antara lain:

- a. Lari cepat dalam jarak dekat
- b. Lari bolak-balik, jarak enam meter (*shuttle run*)
- c. Tingkatkan kualitas latihan dengan menggunakan beban, rintangan, dan lain-lain.
- d. Jongkok-berdiri dan diikuti lari cepat dalam jarak dekat pula.

### 4). Latihan Fleksibilitas

Fleksibilitas adalah komponen kesegaran jasmani yang sangat penting dikuasai oleh setiap pemain bulutangkis. Karakteristik gerak serba cepat, kuat, luwes namun tetap bertenaga, pembinaan kelenturan tubuh harus mendapat perhatian khusus. Orang yang kurang lentur rentan mengalami cedera di bagian otot dan daerah persendian, gerakannya cenderung kaku sehingga banyak menggunakan energi, kurang harmonis, kurang rileks, dan tidak efisien. Latihan-latihan peregangan dengan kualitas gerakan yang benar memacu komponen otot dan persendian mengalami peregangan yang optimal.

## 2.2. Tinjauan Terkait Latihan Pagi dan Malam

Seseorang yang melakukan olahraga dengan cara yang tepat akan memperoleh manfaat maksimal misalnya memperhatikan intensitas latihannya. Selain itu, adalah memilih kesempatan untuk berolahraga. Secara umum, waktu terbaik untuk berolahraga adalah pagi hari, dan waktu istirahat terbaik adalah sore hari. Hal ini disebabkan karena beberapa bukti menunjukkan bahwa manusia melewati dua fase berbeda dalam hidup mereka yaitu fase ergotropik, saat mereka melakukan aktivitas pagi hari, dan fase trofotropik, saat mereka beristirahat di malam hari (Andriana and Ashadi, 2019).

Semakin sedikitnya waktu untuk berolahraga yang disebabkan karena padatnya aktivitas harian. Akibatnya, masyarakat yang sibuk dari pagi hingga sore hari kemudian melakukan olahraga setelah selesai bekerja, yaitu pada malam hari. Padahal seseorang yang melakukan olahraga pada malam hari memiliki dampak negatif untuk tubuh salah satunya yaitu siklus tidur terganggu. Seseorang yang melakukan olahraga menjelang waktu tidur dengan energi maksimal akan mengalami peningkatan gairah fisiologis ditandai dengan gejala peningkatan detak jantung dan pernapasan meningkat (Kline and Youngstedt, 2017; Andriana and Ashadi, 2019).

Padatnya aktivitas di siang hari menyebabkan adanya peningkatan tekanan darah dan denyut nadi. Selanjutnya, semua fungsi tubuh akan melambat di malam hari, dan mengakibatkan kantuk. Tetapi, jika seseorang memaksakan diri untuk berolahraga di malam hari, maka perubahan jadwal ini dapat mengganggu *internal timekeeper* yang berfungsi untuk mengarahkan kemampuan tubuh. Akibatnya, daya tahan tubuh berkurang yang disebabkan karena kurangnya istirahat sehingga tubuh kehilangan banyak energi setelah seharian bekerja keras. Biasanya, manusia sibuk beraktivitas pada siang hari sehingga saat seseorang bekerja di malam hari menyebabkan pergeseran fase dalam siklus bangun tidur dan ritme sirkadian dari sistem fisiologis lainnya (Jensen *et al.*, 2016).

Ritme sirkadian juga terganggu saat seseorang berolahraga di malam hari. Kadar Melatonin sebagai antioksidan berkurang konsentrasinya saat ritme sirkadian terganggu. Penurunan produksi melatonin menyebabkan peningkatan ROS dalam sel. Dalam kondisi normal, orang dapat menahan tekanan stress oksidatif ringan dan membangun kembali keseimbangan redoks melalui reaksi adaptasi dalam tubuh. Namun, reaksi antioksidan kuat yang disebabkan karena peningkatan kadar stress oksidatif seperti aktivitas olahraga yang kurang tepat dapat meningkatkan kerusakan sel. Stress oksidatif dapat terjadi jika peningkatan ROS tidak diimbangi oleh peningkatan antioksidan. ROS yang melimpah akan merespons dengan berbagai bagian tubuh seperti lemak, protein, dan DNA. Mutasi DNA dan oksidasi protein keduanya merupakan hasil yang mungkin dari reaksi ROS dengan protein dan DNA. Banyak lipid dalam membran sel dan organel yang memiliki rantai ganda, sehingga lebih mudah bagi ROS untuk bereaksi dengannya dan memulai reaksi berantai yang dikenal sebagai peroksidasi lipid, dan dapat merusak sel. Peroksidasi lipid ini akan membuat rantai lemak tak jenuh terpisah

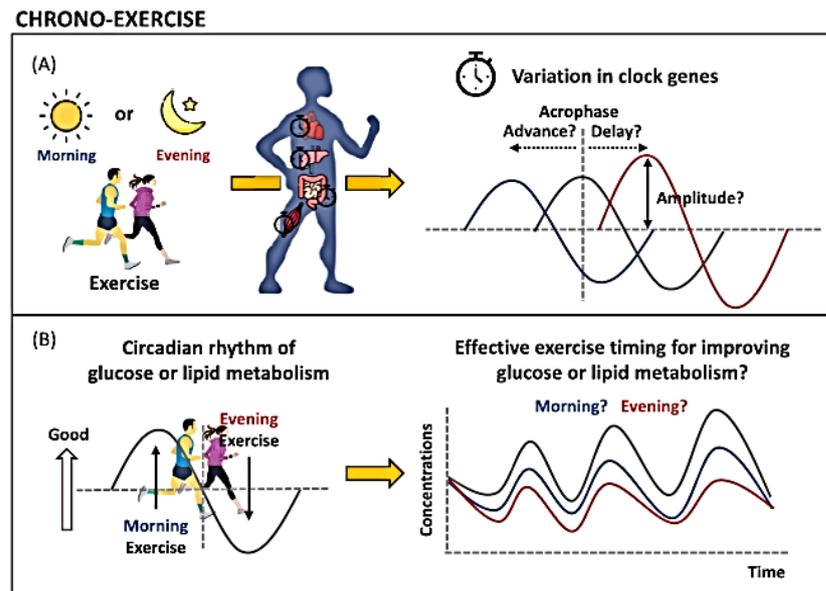
menjadi berbagai campuran berbahaya, salah satunya adalah malondialdehid (MDA) (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh mushab (2020) yang menilai kadar MDA pada 20 mahasiswa yang melakukan Olahraga sepeda statis dengan intensitas 70-80% dari *heart rate* maksimal dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar MDA pagi dan malam hari pada orang yang tidak terlatih yang telah melakukan sepeda statis. Peningkatan kadar MDA pada malam hari lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan pada pagi hari (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020) Berolahraga pada pagi hari memang lebih menyenangkan karena udara yang segar dan lebih bersih disebabkan karena oksigen yang belum tercemar oleh asap kendaraan sehingga akan lebih mudah dialirkan ke seluruh tubuh. Dan menjadi motivasi bagi seseorang agar bersemangat untuk melakukan olahraga.

Ritme sirkadian menyediakan siklus konstan (ritme biologis) dalam tubuh dan terkait dengan pengaturan berbagai fungsi fisiologis dan biologis, termasuk fungsi pencernaan, penyerapan, metabolisme, dan endokrin. Jam biologis mamalia dan manusia, secara luas diklasifikasikan ke dalam jam sentral di nukleus suprakiasmatik (SCN), yang berada di nukleus neuronal mikroskopis di hipotalamus otak, dan jam perifer di daerah otak lain dan semua jaringan di tubuh, termasuk hati, ginjal, jaringan adiposa, dan otot rangka. Stimulasi photic adalah stimulus yang paling penting untuk sinkronisasi jam pusat. Informasi sinyal fotik yang diterima dari retina ditransmisikan ke SCN, dan sinkronisasi dimulai dengan mempromosikan transkripsi *Periode1* dan *Per2* melalui fosforilasi cAMP response element binding protein. Selanjutnya, fase jaringan perifer hilir disesuaikan dengan sinyal dari faktor humoral seperti faktor neurogenik dan hormon dalam tubuh. Sebaliknya, organ perifer juga dipengaruhi oleh rangsangan selain jam sentral misalnya, olahraga (Kim *et al.*, 2022).

Pada 2017, Hadiah Nobel dalam Fisiologi atau Kedokteran diberikan untuk mekanisme molekuler jam biologis. Ketertarikan pada jam biologis semakin berkembang di bidang penelitian terapan. Secara khusus, telah diterapkan di bidang ilmu olahraga, yang mengarah ke bidang baru yang disebut *chrono-exercise*. *chrono-exercise* adalah disiplin yang bertujuan untuk menjaga dan meningkatkan kesehatan masyarakat dengan menambahkan faktor seperti “kapan” waktu untuk berolahraga sepanjang hari. *Chrono-exercise* dianggap

memiliki dua aspek utama yaitu efek pengaturan yang berkontribusi pada perubahan atau pengaturan ulang jam biologis melalui olahraga dan konsep merancang waktu latihan berdasarkan ritme sirkadian. Variasi diurnal ada dalam sekresi berbagai hormon yang terlibat dalam metabolisme energi. Idenya adalah menggunakan informasi waktu ini untuk latihan yang efisien, pemanfaatan substrat energi, atau peningkatan metabolisme (Kim *et al.*, 2022).

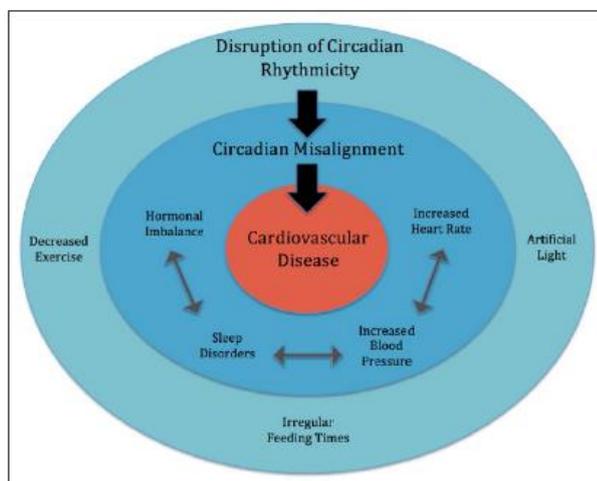


**Gambar 2. 3** Skema chrono exercise dan efek waktu latihan terhadap ritme sirkadian

**Sumber:** (Kim *et al.*, 2022)

Fondasi fisiologis dan psikologis dari siklus tidur dan bangun harian adalah ritme sirkadian. Irama Circadian secara khusus yang mengatur semua proses fisiologis dan psikologis sepanjang hari. Sehingga ritme sirkadian seseorang akan terganggu saat jadwal aktivitasnya berubah, seperti saat shift kerja yang berubah sehingga akan menimbulkan efek fisiologis seperti masalah pencernaan, gangguan pola tidur serta masalah kesehatan lainnya. Suhu tubuh, laju metabolisme, detak jantung, tekanan darah, dan sejumlah hormon semuanya terkait dengan ritme sirkadian. Faktor lingkungan seperti cahaya, dan suhu mempengaruhi ritme sirkadian (.S, Wijono and Handoyo, 2015). Jam sirkadian yang terdiri dari dua bagian berbeda inilah yang mendorong ritme sirkadian manusia: jam pusat, yang terletak di inti suprachiasmatic (SCN) di hipotalamus, dan jam perifer, yang terletak di hampir semua jaringan dan kerangka organ dalam tubuh. Perubahan denyut sirkadian bergantung pada

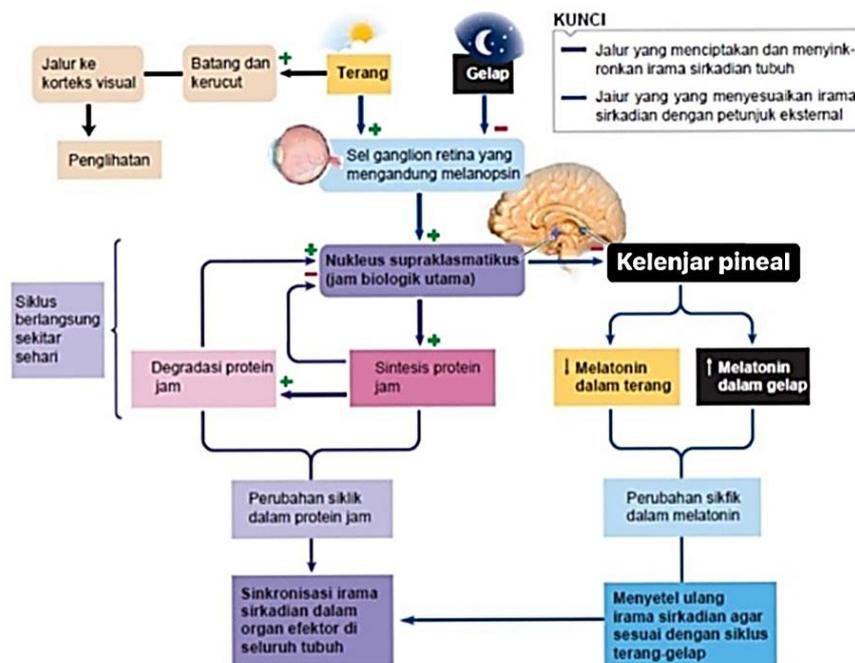
waktu dan dampak ekologis, misalnya, petunjuk cahaya dan kerja aktual yang diterapkan pada otot rangka (Hower, Harper and Buford, 2018).



**Gambar 2. 4** Pengaruh latihan fisik terhadap perubahan ritme sirkadian  
**Sumber:** (Isabella,2018)

Irama endokrin yang paling sering dibahas yaitu irama diurnal ("siang-malam") atau sirkadian ("dalam sehari") yang ditandai dengan osilasi berulang kadar hormon yang sangat teratur dan bersiklus satu kali 24 jam. Irama ini disebabkan oleh osilator endogen seperti neuron pemacu pernapasan di batang otak yang mengontrol pernapasan. Namun, sebenarnya siklus osilator ini jauh lebih lama. Ritme endokrin, berbeda dengan ritme pernapasan, juga beradaptasi dengan isyarat eksternal seperti siklus terang-gelap. "Langkah" siklus terang dan gelap sesuai dengan siklus bawaan 24 jam sekresi hormon. Misalnya, sekresi kortisol meningkat pada malam hari, memuncak pada dini hari sebelum orang bangun, dan kemudian menurun sepanjang hari hingga mencapai titik terendah pada malam hari. Sistem saraf pusat mengubah titik referensi kelenjar endokrin untuk menciptakan ritme hormonal.. Mekanisme umpan balik negatif berfungsi untuk mempertahankan titik tolak ukur saat ini. Beberapa siklus endokrin bekerja pada skala periode di luar irama sirkadian, dengan model yang terkenal adalah siklus menstruasi wanita. Suprachiasmatic nukleus (SCN) terdiri dari dua kelompok badan sel saraf, satu di setiap sisi otak, di hipotalamus di atas chiasma optik, di mana beberapa serabut saraf mata terhubung ke sisi berlawanan otak (supra berarti " di atas"). chiasma, yang berarti "silang" Ada 20.000 neuron di SCN, namun sepasang neuron SCN ini

berperan penting dalam menyelaraskan ritme alami tubuh sehari-hari (lauralee, 2018).

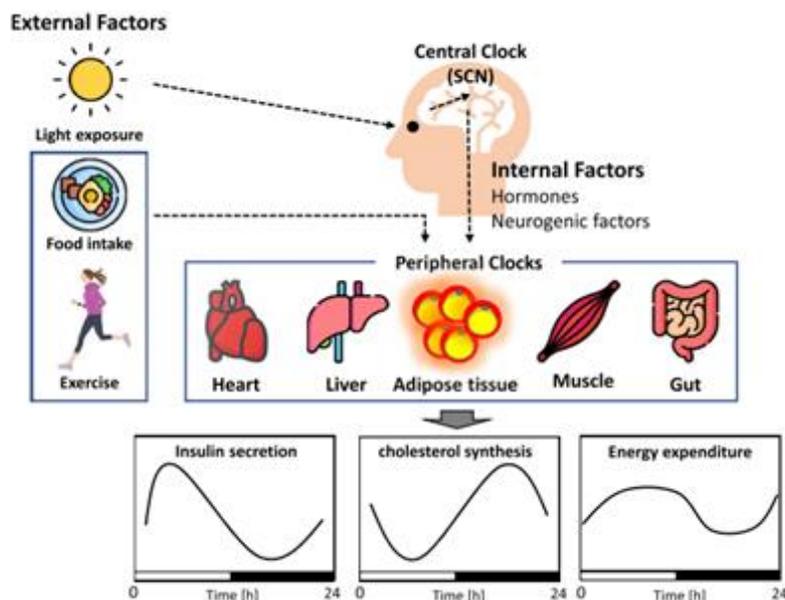


**Gambar 2. 5** Sinkronisasi dan Penyesuaian Irama Sirkadian

**Sumber :** Sherwood,2018

Jam biologis dibagi menjadi jam pusat dan jam periferal. Letak jam pusat yaitu di nukleus suprachiasmatic (SCN) tepatnya di hipotalamus otak. Cahaya adalah rangsangan paling kuat yang merupakan petunjuk dari lingkungan untuk mengatur jam pusat kemudian rangsangan ini ditransmisikan melalui saraf optik mata ke SCN, tempat jam internal disinkronkan. Fotoreseptor khusus di retina bertugas dalam menangkap sinyal cahaya kemudian mengantarkan langsung ke SCN. Di sel ganglion retina khusus terdapat Melanopsin yang merupakan suatu molekul reseptor untuk cahaya yang menjaga tubuh tetap sinkron dengan waktu eksternal. Akson sel-sel ganglion ini membentuk saraf optik yang kemudian bawa informasi menuju korteks penglihatan di lobus oksipitalis. Di antara sel-sel ganglion retina yang berorientasi secara visual, terselip sekitar 1% -2% sel ganglion retina yang membentuk sistem deteksi sinar yang sama sekali independen dan berespons terhadap tingkat pencahayaan. Sel ganglion retina pendeteksi cahaya dan mengandung melanopsin ini memberi petunjuk kepada kelenjar pineal tentang ada tidaknya cahaya dengan mengirim sinyalnya bersama dengan traktus retinohipotalamik ke SCN kemudian pesan mengenai status pencahayaan

disampaikan ke kelenjar pineal. Sinyal dari jam pusat ditransmisikan ke jaringan perifer oleh faktor hormonal dan saraf. Sebaliknya, olahraga dan asupan makanan menyinkronkan jam tubuh tanpa memediasi jam pusat. Juga, sinkronisasi jam di jaringan yang berbeda menciptakan ritme sirkadian yang terkoordinasi dari proses metabolisme seperti sekresi insulin, sintesis kolesterol, dan pengeluaran energi (lauralee, 2018; Kim *et al.*, 2022).

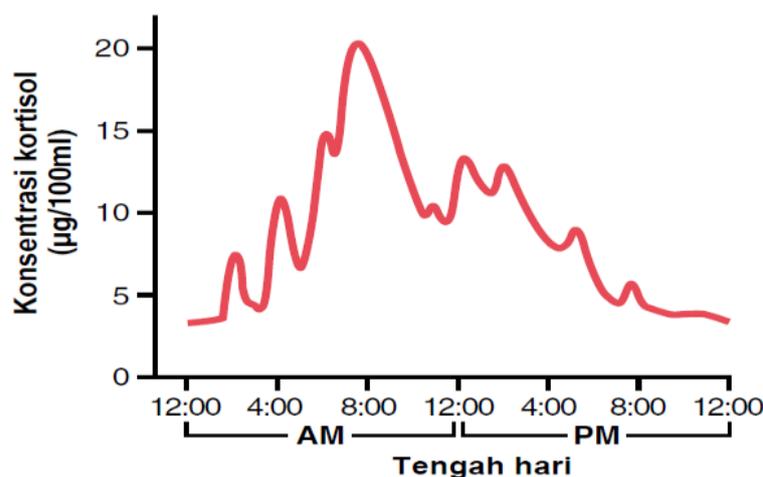


**Gambar 2. 6** Pengaturan Jam Pusat dan perifer  
**Sumber:** (Kim *et al.*, 2022)

Melatonin adalah hormon yang di produksi saat gelap. Terjadi peningkatan sekresi melatonin mencapai 10x lipat pada saat malam hari dan kemudian menurun saat siang hari. Ritme biologis tubuh disinkronkan dengan sinyal eksternal siang-malam melalui fluktuasi sekresi melatonin. (lauralee, 2018). Sebuah penelitian oleh Cheikh *et al* (2019) memberikan suplemen melatonin (MEL-10) kepada 14 remaja setelah melakukan Running-Based Anaerobic Sprint Test (RAST) pada pukul 20:00. Kemudian responden diberikan latihan yang sama pada pagi hari tanpa pemberian suplemen melatonin. Selanjutnya, sampel darah diambil sebelum dan sesudah latihan. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa pemberian suplemen melatonin mampu meningkatkan kekuatan, menurunkan indeks kelelahan dan mengurangi kerusakan otot dengan nilai creatin kinase. Tetapi penggunaan MEL-10 hanya direkomendasikan untuk penggunaan jangka pendek karena keamanan penggunaan MEL-10 untuk jangka panjang belum diteliti lebih lanjut (Cheikh

*et al.*, 2019). Meningkatnya hormon melatonin, sangat erat kaitannya dengan penurunan tingkat stres oksidatif yang mengarah pada pengurangan kerusakan jaringan karena memberikan efek menghambat beberapa sitokin proinflamasi (Jensen *et al.*, 2016; Cheikh *et al.*, 2019; Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020).

Stimulasi hipotalamus akibat berbagai jenis stres sangat penting untuk regulasi kortisol. Stimulus stres ini menyebabkan seluruh sistem menjadi aktif, mengakibatkan pelepasan kortisol dengan cepat, yang pada gilirannya menyebabkan serangkaian efek metabolik yang secara langsung mengurangi sifat destruktif keadaan stres. Salah satu rangsangan yang paling kuat adalah stres; Stimulus ini selalu memiliki kemampuan untuk mengganggu umpan balik penghambatan langsung kortisol, yang mengakibatkan timbulnya gejala dasar akibat sekresi kortisol setiap hari. Sekresi CRH, ACTH, dan kortisol meningkat pada awal pagi, dan menurun pada sore menjelang magrib. Kadar plasma kortisol berkisar antara kadar paling tinggi kira-kira 20  $\mu\text{g/dl}$  satu jam sebelum matahari terbit di pagi hari dan kadar paling rendah kira-kira 5  $\mu\text{g/dl}$  saat tengah malam. Hal ini merupakan akibat dari perubahan siklus sinyal hipotalamus selama 24 jam, yang menimbulkan sekresi kortisol. Bila kebiasaan tidur sehari diubah, maka akan timbul perubahan siklus juga (Hall, 2018).



**Gambar 2. 7** Pola konsentrasi kortisol dalam sehari  
**Sumber:** Guyton hall, 2018

Olahraga dapat menyebabkan meningkatnya kadar ROS yang disebabkan karena beberapa mekanisme yaitu meningkatnya aktivitas mitokondria, aktivitas

Nikotinamid Adenin Denukleotid Fosfat (NADPH) dan Xantin Oksidase (XO), saat seseorang berolahraga di pagi dan malam hari, maka mekanisme ini akan bekerja. Tetapi olahraga malam hari memiliki beberapa mekanisme tambahan seperti terganggunya ritme sirkadian dan menyebabkan produksi melatonin menurun dan fungsinya sebagai antioksidan serta faktor pencetus radikal bebas yang mengalami peningkatan pada malam hari seperti CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Pb dan O<sub>3</sub>. Sehingga dengan penambahan beberapa mekanisme ini menyebabkan kadar oksidan yang lebih tinggi pada malam hari (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020). Aktivitas fisik menyebabkan hipotalamus menghasilkan corticotropin-releasing hormone (CRH), yang akan merangsang hipofisis anterior untuk menghasilkan korteks adrenal troponin (ACTH), yang pada gilirannya mempengaruhi korteks untuk menghasilkan kortisol, hormon stres dan menyebabkan tingginya kadar radikal bebas (Kim *et al.*, 2015). ROS dapat di produksi oleh *xanthine oxidase*, *Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate oxidase* (NAD(P)H), *lipoygenase*, mitokondria, atau *uncoupling synthase Nitric Oxide synthase* (eNOS) sel-sel vascular (Arief and Widodo, 2013).

Melatonin merupakan molekul yang sebagian besar disekresikan pada malam hari yang memiliki beberapa fungsi misalnya, bertindak sebagai antioksidan kuat yang mampu melindungi dari potensi kerusakan molekuler selama latihan akut, mencegah sitokin pro-inflamasi yang memiliki konsekuensi berbahaya pada sistem kekebalan tubuh, melatonin juga memiliki sifat anti-oksidatif dengan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan yang kemudian menghasilkan molekul yang melindungi dari stres oksidatif dan mengurangi jumlah spesies oksigen reaktif. Melatonin adalah zat yang melindungi sel dari radikal bebas yang merusak sistem biologis. Partikel yang kekurangan elektron yang sangat tidak stabil, reaktif, dan merusak dikenal sebagai radikal bebas. Radikal bebas diduga berperan dalam proses penuaan dan sejumlah penyakit kronis seperti kanker dan penyakit arteri koroner. Melatonin telah terbukti membalikkan beberapa penyusutan timus, yang merupakan sumber limfosit T, dan juga dapat meningkatkan kekebalan tubuh. Beberapa penelitian juga melaporkan efek melatonin terhadap berbagai model eksperimental cedera jaringan termasuk degenerasi otot akibat olahraga, mengurangi stres oksidatif dan peroksidasi lipid. Saat ini, penggunaan suplemen melatonin untuk berbagai penyakit sedang digemari karena disebut sebagai suplemen dengan segudang manfaat. Selain itu, melatonin memiliki efek positif pada pemulihan setelah sesi latihan. Beberapa penelitian juga telah menunjukkan

bahwa suplementasi MEL-oral selama latihan intensitas tinggi efisien dalam mengurangi tingkat stres oksidatif (menurunkan peroksidasi lipid, dengan peningkatan aktivitas enzim antioksidan yang signifikan), yang mengarah pada pemeliharaan integritas sel. Dan pengurangan kerusakan jaringan sekunder. Data menunjukkan bahwa MEL memiliki efek perlindungan yang kuat, mencegah ekspresi berlebih dari mediator proinflamasi dan menghambat efek beberapa sitokin proinflamasi (Lauralee, 2018; Cheikh *et al.*, 2019).

Dalam penelitian oleh (Laily, 2019) bertujuan untuk menilai kualitas tidur kelompok sampel setelah melakukan aktivitas *bersepeda dengan intensitas tinggi (HIIT)* atau aktivitas *continuous*. Kesimpulan yang dapat ditarik adalah bahwa kelompok yang melakukan aktivitas olahraga di pagi hari lebih baik daripada kualitas tidur pada kelompok yang melakukan aktivitas olahraga di malam hari. Hal ini dibuktikan dengan adanya perbedaan nilai kualitas tidur yang signifikan pada kelompok yang melakukan aktivitas *bersepeda berat (HIIT)* di pagi dan malam hari. Jadi dapat disimpulkan bahwa olahraga dengan intensitas tinggi yang dilakukan pada malam hari dapat berdampak pada terganggunya nilai kualitas tidur (Andriana and Ashadi, 2019).

Ada 3 alasan mengapa olahraga pagi lebih baik untuk dilakukan, antara lain :

- a. Memperbaiki dan meningkatkan suasana hati (mood).

Kualitas tidur yang kurang baik saat malam hari serta beban pekerjaan atau masalah yang dihadapi saat malam hari beresiko mengganggu mood di pagi hari selanjutnya kemudian akan memengaruhi perasaan seharian. Oleh karena itu, sebelum beraktivitas, sebaiknya menyempatkan diri untuk berolahraga untuk mood lebih baik.

- b. Membantu membakar lebih banyak kalori.

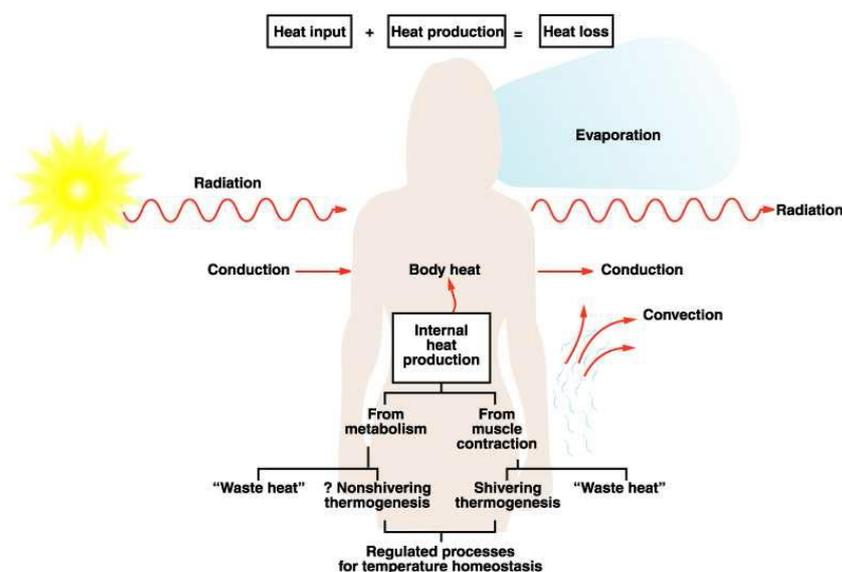
Olahraga di pagi hari berpotensi mempercepat metabolisme, mempersiapkan tubuh untuk membakar lebih banyak kalori sepanjang hari. Tubuh terus membakar kalori bahkan saat istirahat.

- c. Udara lebih bersih.

Secara umum, saat pagi hari kualitas udara lebih baik daripada sore atau malam hari. Dengan demikian, Anda akan menghirup udara yang lebih bersih saat berjalan atau berlari di sekitar kompleks perumahan di pagi hari. Itu juga akan terkena sinar matahari pagi di pagi hari. Vitamin D membantu memperkuat tulang Anda dan diproduksi oleh tubuh saat terkena sinar matahari pagi.

Saat melakukan aktivitas fisik dapat mempengaruhi suhu tubuh seseorang. Panas tubuh tercermin dalam suhu tubuh. Ketika seseorang banyak berolahraga, kontraksi otot menyebabkan panas yang menyebabkan pembuluh darah kulit berkontraksi atau mengembang. Sementara pelebaran pembuluh darah meningkatkan aliran darah ke suatu organ, penyempitan pembuluh darah yang mengalir ke organ tersebut menurunkan aliran darah ke organ tersebut. Semakin besar kehilangan panas dari kulit ke lingkungan sekitar, semakin hangat darah yang mengalir ke kulit. Panas digunakan untuk menghangatkan tubuh. Selain itu, menggigil sebenarnya adalah bentuk adaptasi tubuh, Hal ini terjadi ketika otot rangka digunakan menghasilkan lebih banyak panas di lingkungan yang dingin. Namun, karena mekanisme pembuangan panas yang normal mungkin tidak dapat mengakomodasi produksi panas yang meningkat, olahraga berat di hari yang panas dapat mengakibatkan panas tubuh yang berlebihan (lauralee, 2018).

Homeostasis bersifat stabil-dinamik tempat perubahan yang terjadi diminimalkan oleh respons fisiologis kompensatorik. Kata *dinamik* mengacu pada kenyataan bahwa setiap faktor yang diatur secara homeostasis ditandai oleh perubahan yang terus-menerus, sedangkan *stabil* mengisyaratkan bahwa perubahan-perubahan ini tidak menyimpang jauh dari tingkat konstan atau tetap. Sebagai contoh, pajanan ke suhu lingkungan yang dingin (suatu faktor eksternal) cenderung menurunkan suhu internal tubuh. Sebagai respons, pusat kontrol suhu di otak memulai tindakan-tindakan kompensasi, misalnya menggigil, untuk meningkatkan suhu tubuh ke normal. Sebaliknya, produksi panas tambahan oleh otot-otot yang aktif selama olahraga (faktor internal) cenderung meningkatkan suhu internal tubuh. Sebagai respons, pusat kontrol suhu memicu proses berkeringat dan tindakan kompensasi lain untuk mengurangi suhu tubuh ke normal. Suhu lingkungan yang tinggi akan meningkatkan suhu tubuh. Udara lingkungan yang lembab juga akan meningkatkan suhu tubuh karena menyebabkan hambatan penguapan keringat, sehingga panas tertahan di dalam tubuh. (lauralee, 2018).



**Gambar 2. 8** Proses Regulasi Keseimbangan panas  
**Sumber :** (Silverthorn, 2018)

Perubahan suhu tubuh dideteksi oleh 2 jenis termoreseptor, satu di kulit (peripheral thermoreceptors) dan satu lagi di hipotalamus, medula spinalis, dll (central thermoreceptors). Termoreseptor sentral memberi umpan balik yang penting dalam mempertahankan suhu inti tubuh ketika termoreseptor perifer memberi informasi pada hipotalamus untuk mengintegrasikan refleks dan mengirimnya melalui saraf simpatis ke kelenjar keringat, arteriola kulit, dan medula adrenal serta melalui saraf motorik ke otot rangka. Suhu tubuh diatur oleh hipotalamus untuk mempertahankan suhu tubuh pada suhu lingkungan antara 27,8° - 30°C. Kisaran suhu lingkungan ini disebut *thermoneutral zone* (Silverthorn, 2018).

Derajat keasaman atau pH menggambarkan aktivitas potensial ion hidrogen dalam larutan yang dinyatakan sebagai konsentrasi ion hidrogen (mol/l) pada suhu tertentu. Nilai pH normal yaitu 7. Nilai pH dipengaruhi oleh konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada siang hari karena terjadi fotosintesis maka konsentrasi CO<sub>2</sub> menurun sehingga pH meningkat. Sebaliknya pada malam hari seluruh organisme melepaskan CO<sub>2</sub> hasil respirasi sehingga pH menurun. Peningkatan pH dapat meningkatkan konsentrasi amonia, sedang pada pH rendah terjadi peningkatan konsentrasi hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S). Hal ini juga berarti meningkatkan daya racun dari amonia pada pH tinggi dan H<sub>2</sub>S pada pH rendah (Supriatna *et al.*, 2020).

Perubahan suhu dapat dirasakan pada berbagai tingkatan jaringan tubuh dengan area yang paling rentan adalah kulit, otot, dan inti tubuh (yaitu jaringan

rektal, visceral, dan esofagus). Selama latihan, peningkatan metabolisme produksi panas menambah tingkat di mana panas harus hilang ke lingkungan untuk mencegah peningkatan suhu jaringan yang berbahaya. Peningkatan kehilangan panas melalui vasodilatasi kulit dan berkeringat yang disebabkan oleh aktivasi saraf otonom sebagai respon adaptasi tubuh. Selama berolahraga, tubuh menyimpan panas akibat ketidakseimbangan antara laju perolehan panas dan kehilangan panas. Selama latihan dinamis, sejumlah besar panas disimpan dalam otot aktif dengan suhu otot mencapai nilai 2–3°C (bergantung pada durasi dan intensitas latihan serta kondisi lingkungan sekitar) di atas suhu inti (Kenny and McGinn, 2017).

### 2.3. Tinjauan Terkait Kadar Oksidan

Aktivitas fisik sedang berdampak positif bagi tubuh karena membantu menjaga Kesehatan tulang, otot, dan persendian; membantu menjaga kadar normal kolesterol dan berat badan; serta menurunkan kadar kolesterol dan kelebihan berat badan. Tubuh dapat beradaptasi selama kadar radikal bebas yang dihasilkan dalam jumlah sedang. Tubuh juga akan berusaha beradaptasi saat aktivitas fisik melelahkan. Tetapi, jika kadar oksidan yang dihasilkan oleh tubuh lebih tinggi maka akan menyebabkan ketidakseimbangan antara oksidan dan antioksidan sehingga terjadi kerusakan oksidatif (oksidasi lipid, oksidasi protein dan oksidasi DNA). Hal ini membuat tubuh lebih rentan terhadap kelelahan, cedera dan berbagai penyakit (Daniela *et al.*, 2022).

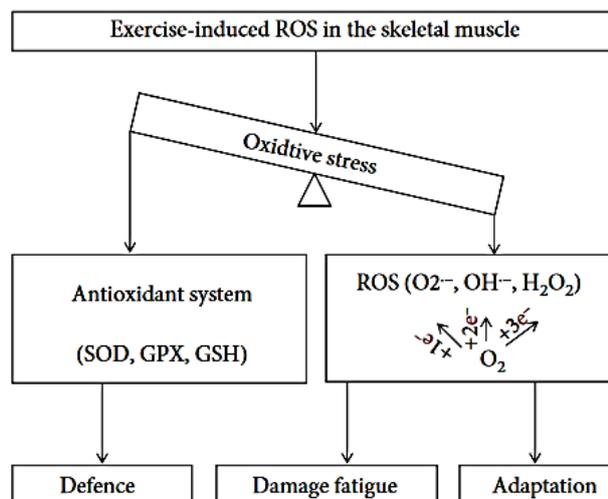
Sistem saraf otonom memiliki peran penting terhadap stres oksidatif karena terkait dengan penurunan stres oksidatif yang disebabkan oleh aktivitas fisik. Pembagian sistem saraf otonom meliputi organ dalam, kulit dan otot yang mengontrol fungsinya dengan memproduksi dan mengeluarkan asetilkolin, hormon adrenalin, dan noradrenalin. Dengan cara ini, autonomic nervous system (ANS) mampu memengaruhi respons tubuh terhadap stres dan inflamasi. Adaptasi sistem saraf autonom adalah salah satu cara untuk mencapai dampak positif dari latihan. Rekomendasi latihan intensitas sedang untuk kebanyakan orang adalah 30 menit/hari 5 hari/minggu. Untuk orang dengan penyakit seperti gangguan otonom, latihan harus dilakukan di bawah pengawasan ahli. latihan yang berlebihan (volume besar atau latihan jangka panjang) menyebabkan tekanan oksidatif, ini akan menghilangkan dampak positif dari latihan fisik pada hasil kesehatan. Telah dibuktikan bahwa konsentrasi plasma IL-6 meningkat secara

eksponensial selama latihan fisik. Tingkat IL-6 puncak dicapai pada akhir latihan atau segera sesudahnya. IL-6 memainkan peran mendasar dalam proses inflamasi yang dihasilkan dari olahraga, dan menunjukkan sifat pro-inflamasi atau anti-inflamasi. Jenis latihan fisik yang direkomendasikan karena peningkatan kadar enzim antioksidan yang dihasilkannya adalah latihan sedang yang dapat meningkatkan kemampuan fisiologis dan fungsional individu. latihan yang berlebihan (volume besar atau latihan jangka panjang) menyebabkan tekanan oksidatif, Ini akan menghilangkan dampak positif dari aktivitas fisik karena dihasilkan peningkatan antioksidan sedangkan aktivitas fisik sedang dapat memberikan manfaat aktivitas fisik (Daniela *et al.*, 2022).

Keberadaan radikal bebas dalam sel hidup pertama kali dilaporkan pada tahun 1954 dan temuan penting ini membantu meluncurkan bidang biologi radikal bebas. Namun, penemuan bahwa latihan otot dikaitkan dengan peningkatan biomarker stres oksidatif tidak terjadi sampai tahun 1978. Menyusul penelitian awal yang melaporkan bahwa olahraga meningkatkan stres oksidatif pada manusia khususnya latihan intensitas tinggi dalam jangka waktu yang lama atau durasi pendek menghasilkan peningkatan radikal dalam otot rangka, sehingga terjadi aktivasi antioksidan antioksidan pada otot rangka, yaitu, superoksida dismutase (SOD1 dan SOD2) GPx, dan CAT. Selain itu, mengakibatkan efek merugikan bagi kesehatan seperti kerusakan otot, peradangan dan stres oksidatif. Secara khusus, kontraksi otot berulang melibatkan akumulasi ROS. Peningkatan produksi ROS yang disebabkan oleh latihan ataupun olahraga yang melelahkan atau tekanan lainnya, bersama dengan pertahanan antioksidan yang terganggu, dapat menyebabkan stres oksidatif dan jaringan terkait kerusakan (Powers, Radak and Ji, 2016). Namun, jika olahraga dilakukann dengan intensitas yang tepat maka akan merangsang respon adaptif dan memperkuat sistem pertahanan antioksidan untuk melawan ROS yang berlebihan sehingga menjaga keseimbangan redoks otot.

Stres oksidatif adalah ketidakseimbangan sistem redoks dalam tubuh, yang menghasilkan spesies reaktif oksigen (ROS) yang berlebihan, menyebabkan kerusakan multiple sel, dan berkaitan erat dengan beberapa kondisi patologis, seperti resistensi insulin dan inflamasi. Olahraga disebut sebagai stimulus eksternal stres oksidatif yang menyebabkan perubahan fungsi patofisiologi pada jaringan dan organ, termasuk otot rangka. Olahraga menyebabkan pasokan oksigen tidak dapat memenuhi peningkatan kebutuhan oksigen tubuh secara

cepat; kemudian, banyak jaringan dan organ menghasilkan beberapa molekul yang sangat aktif, seperti spesies nitrogen reaktif (RNS) dan spesies oksigen reaktif (ROS). Stres oksidatif akibat olahraga teratur atau intensitas sedang jangka panjang terkait erat dengan terbentuknya sistem adaptasi otot, sedangkan radikal bebas berlebihan yang dihasilkan oleh olahraga berat atau akut dapat menyebabkan kelelahan dan kerusakan stres oksidatif otot, yang berdampak pada kapasitas olahraga dan mengganggu kesehatan tubuh (Wang *et al.*, 2021).

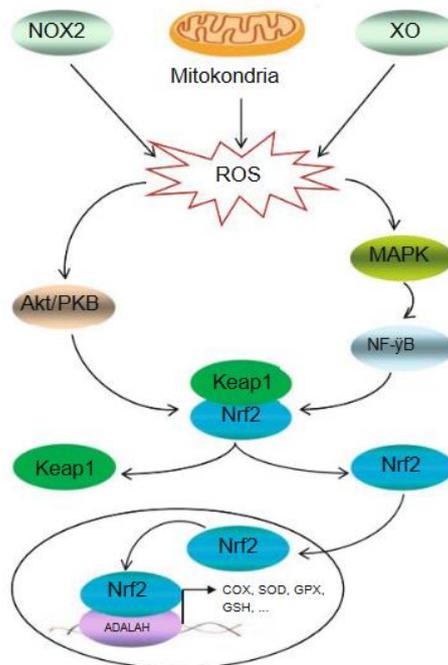


**Gambar 2. 9** Efek latihan terhadap kadar ROS  
Sumber : (Wang *et al.*, 2021)

Dalam kondisi fisiologis normal, ROS berpartisipasi dalam sejumlah aktivitas sel, termasuk metabolisme energi sel, transduksi sinyal, dan regulasi ekspresi gen, tetapi kadar ROS yang tinggi juga dapat merusak biomakromolekul dalam sel, seperti lipid, protein, dan asam nukleat. menyebabkan penuaan sel bahkan kematian. Sejumlah besar penelitian telah menunjukkan bahwa olahraga teratur atau sesuai menghasilkan ROS tingkat rendah, sementara produksi radikal bebas endogen yang berlebihan selama olahraga dapat merusak fungsi fisiologis seluruh jaringan. (Wang *et al.*, 2021).

Proses kelelahan olahraga merupakan fenomena fisiologis yang kompleks. Terjadi karena konsumsi energi fisik atau akumulasi metabolit, termasuk kelelahan otot rangka, kelelahan visceral, dan kelelahan saraf. Kelelahan otot rangka adalah manifestasi perifer utama dari kelelahan olahraga. Kekuatan otot bergantung pada mekanisme kontraksinya, sedangkan gangguan pada saraf, ion, pembuluh darah, dan sistem energi akan menyebabkan kelelahan otot, terutama faktor metabolisme energi

selama proses kontraksi otot, seperti  $H^+$   $P_i$ , ROS reaktif, heat shock protein (HSP),  $\gamma$ -acid glycoprotein yang juga mempengaruhi kelelahan otot (Wang *et al.*, 2021).



**Gambar 2. 10** Efek ROS yang akibat olahraga pada otot rangka  
**Sumber :** (Wang *et al.*, 2021)

ROS tidak hanya dapat mengaktifkan NF- $\kappa$ B dengan mengaktifkan mitogen-activated protein kinase (MAPK) tetapi juga merangsang fosforilasi AKT, dengan demikian mengaktifkan faktor hilir molekul nuklir eritroid mereka yang berasal dari faktor terkait (Nrf2). Nrf2 berfungsi sebagai faktor transkripsi penginderaan redoks berdisosiasi dari inhibitor sitoplasma Keap1, kemudian mentranslokasi ke nukleus dan bergabung dengan elemen respons antioksidan (ARE) untuk berkontribusi pada transaktivasi beberapa gen antioksidan, terutama enzim terkait pertahanan dan terkait adaptasi olahraga enzim, seperti aktivitas oksidase sitokrom oksidase (COX), superoksida dismutase (SOD), glutathione per oksidase (GPX), dan glutathione (GSH), sehingga meningkatkan ekspresi dan aktivitasnya, mengurangi kerusakan oksidatif, dan mempromosikan adaptasi yang diinduksi oleh olahraga. Latihan akut atau Latihan olahraga jangka panjang dapat meningkatkan ekspresi aktivitas pengikatan Nrf2 dan/atau Nrf2-ARE. Setelah 6 minggu Latihan treadmill, aktivitas transkripsi Nrf2 di otot rangka meningkat, dan aktivitas COX juga meningkat sebesar 20%. Stres oksidatif akibat olahraga memiliki efek

ganda pada jaringan otot rangka. Olahraga yang tepat dapat meningkatkan produksi tingkat fisiologis ROS, mempertahankan fungsi otot rangka yang normal, dan memfasilitasi adaptasi olahraga, sedangkan olahraga yang melelahkan dapat menyebabkan tubuh memproduksi terlalu banyak ROS, yang menyebabkan stres oksidatif berlebihan, yang menyebabkan kelelahan sel dan kerusakan otot rangka (Wang *et al.*, 2021). Superoksida ( $O_2^-$ ), hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), dan oksida nitrat (NO) adalah salah satu spesies oksigen reaktif (ROS) terpenting di jantung dan pembuluh darah. NADPH oksidase dan xanthine oxidase (XO) adalah dua sistem enzim yang berpartisipasi dalam reaksi ini. Meskipun  $O_2^-$  memainkan peran penting dalam pembentukan spesies reaktif tambahan, ia juga memiliki potensi untuk mempengaruhi fungsi vaskular dengan sendirinya. Peroksinitrit dihasilkan saat  $O_2^-$  dan NO bereaksi, yang berpotensi membahayakan ROS.

Setiap sel membutuhkan oksigen untuk mengubah energi makanan menjadi ATP (adenosin trifosfat), yang siap digunakan oleh setiap sel untuk aktivitasnya. Saat istirahat, otot menggunakan oksigen paling sedikit. Otot yang digunakan dalam latihan membutuhkan lebih banyak oksigen dan menghasilkan  $CO_2$  karena sel otot yang berkontraksi membutuhkan ATP dalam jumlah yang signifikan untuk dapat berfungsi (Saleh, 2014). Karena peningkatan metabolisme dalam tubuh, latihan fisik dapat meningkatkan konsumsi oksigen hingga 100 hingga 200 kali lipat. Peningkatan kebocoran elektron dari mitokondria yang akan menghasilkan senyawa oksigen reaktif disebabkan oleh peningkatan penggunaan oksigen, terutama oleh otot yang berkontraksi (Nailuvar, 2015).

### **MDA sebagai biomarker penanda stress oksidatif**

Kadar MDA secara objektif dapat mencerminkan tingkat radikal bebas dalam tubuh. Radikal bebas dalam sel hidup pertama kali dilaporkan pada tahun 1954 dan temuan ini membantu ditemukannya biologi radikal bebas. Namun, penemuan terkait exercise dikaitkan dengan peningkatan biomarker stres oksidatif. Laporan awal terkait olahraga meningkatkan stres oksidatif pada manusia, banyak penelitian telah dilakukan dan menegaskan bahwa latihan intensitas tinggi secara terus menerus atau durasi pendek menghasilkan peningkatan radikal produksi dalam otot yang mengakibatkan pembentukan lipid teroksidasi dan bekerjanya protein otot. Sejak studi

deskriptif awal ini, penyelidikan terkait radikal bebas yang berkaitan dengan olahraga dan otot semakin berkembang sebagai suatu disiplin dan urgensi penelitian ini dalam ilmu biomedis telah diakui secara luas (Powers, Radak and Ji, 2016).

Terdapat tiga teori yang menjelaskan kondisi tersebut. Pertama, saat olahraga terjadi peningkatan metabolisme sehingga terjadi peningkatan aktivitas dari mitokondria. Aktivitas mitokondria menghasilkan produk samping yaitu radikal bebas. Semakin tinggi aktivitas mitokondria maka radikal bebas yang dihasilkan juga makin tinggi. Mekanisme kedua yaitu aktivitas dari NADPH dan xantin oksidase. Mekanisme ketiga terjadi melalui stimulasi akibat kerusakan sel yang menginduksi proses inflamasi dan aktivitas dari fagosit. Keseluruhan mekanisme tersebut menyebabkan peningkatan kadar radikal bebas dalam tubuh. Peningkatan kadar radikal bebas yang tidak mampu dinetralkan akan menyebabkan stres oksidatif yang ditandai dengan peningkatan kadar MDA (Powers, Radak and Ji, 2016).

Pada otot rangka, baik enzimatis (mis., Glutathione peroksidase (GPx) dan katalase) dan non-enzimatis (misalnya, GSH, asam urat, bilirubin, vitamin E, vitamin C, dll.) berfungsi sebagai antioksidan untuk melawan ROS. Antioksidan intraseluler ini biasanya terletak dalam sel, sitoplasma, dan organel (misalnya mitokondria) yang melindungi serat otot dari kerusakan akibat ROS (Powers, Radak and Ji, 2016).

Mekanisme peningkatan kadar oksidan yang ditandai dengan peningkatan biomarker MDA pada plasma darah akibat olahraga bulutangkis pada malam disebabkan karena olahraga bulutangkis yang merupakan olahraga dominan menggunakan sistem energi anaerobik. 70% olahraga bulutangkis menggunakan sistem energi ATP-fosfokreatin dan asam laktat. Kedua sistem energi tersebut sangat berisiko tinggi dapat menyebabkan kondisi hipoksia karena berlangsung secara anaerob atau tanpa memerlukan oksigen. Kondisi hipoksia tersebut akan menyebabkan kebocoran elektron yang terjadi di mitokondria saat proses reperfusi oksigen sehingga berdampak pada peningkatan *Reactive Oxygen Species* (ROS) di dalam sel (Yunus, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh (Mushab, 2018) menunjukkan hasil peningkatan yang signifikan kadar MDA serum sebelum dan setelah olahraga pada malam hari, serta rata-rata kadar MDA pada pagi hari lebih rendah jika dibandingkan malam hari. (Mushab, Hairrudin and Abrori, 2020). Hal ini

diakibatkan karena adanya mekanisme tambahan saat olahraga pada malam hari yang menyebabkan kadar radikal bebas tubuh meningkat lebih tinggi. Olahraga merupakan stresor fisiologis yang mampu menginduksi produksi dari radikal bebas. Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan latihan berupa sepeda statis selama 10-90 menit terbukti mengakibatkan peningkatan kadar MDA serum (Kawamura and Muraoka, 2018)

Penelitian yang dilakukan oleh (yunus,2019) dengan melihat pengaruh olahraga bulutangkis malam hari terhadap kadar oksidan yang dilihat dari peningkatan kadar MDA sebagai salah satu indikator stres oksidatif jumlah sampel sebanyak 14 orang mahasiswi tidak terlatih dan dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat efek yang signifikan olahraga bulutangkis pada malam hari terhadap terjadinya stres oksidatif yang ditandai dengan peningkatan kadar MDA pada plasma darah sampel, dengan perbandingan tiga kali lipat lebih tinggi daripada rata-rata MDA kelompok terlatih. Pada kelompok mahasiswa terlatih didapatkan hasil kadar MDA jauh lebih rendah terhadap kadar MDA kelompok tidak terlatih. Hal ini disebabkan karena adanya reaksi adaptasi pada kelompok mahasiswa terlatih yaitu saat terjadi peningkatan kadar MDA kemudian mendorong tubuh melepaskan zat antioksidan lebih banyak lagi. Dengan demikian pada mahasiswa terlatih dampak terhadap stres oksidatif akibat latihan bulutangkis di malam hari mampu ditangkal oleh zat antioksidan sehingga kadar MDA pada mahasiswa terlatih relatif jauh lebih rendah dibandingkan kadar MDA mahasiswa tidak terlatih (Yunus, 2016).

#### **2.4. Tinjauan Terkait Kerusakan Otot**

Tubuh manusia terdiri dari empat jaringan penting, salah satunya adalah jaringan otot. Jaringan otot terdiri dari tiga macam, yaitu: otot rangka (skeletal muscle), otot kardiovaskuler (otot jantung), dan otot polos (smooth muscle). Di setiap jaringan otot terdapat filamen atau sel otot yang tak terhitung jumlahnya dan diselubungi oleh rangkaian untaian jaringan ikat yang diperlukan agar jaringan otot dapat menyelesaikan kewajibannya dengan tepat, khususnya untuk menciptakan gerakan, baik secara sadar maupun tidak sadar. Aktivitas aktual yang ditunjuk dapat bekerja pada struktur, kemampuan, ketekunan, dan kekuatan otot rangka. Peningkatan ini bergantung pada perubahan di tingkat sel dan jaringan. Otot-otot yang tampak normal dari sudut

pandang eksternal, tidak dijamin bekerja secara teratur jika telah terjadi kerusakan yang sangat parah pada mereka. Dengan demikian, perubahan prinsip yang berbeda pada otot rangka karena aktivitas harus diperhatikan sehingga latihan dapat diselesaikan dan digunakan sebaik mungkin (Kalangi, 2014).

Selain itu, kerusakan otot terjadi akibat ketidakseimbangan antara paparan stres dan respons stress. Gejala Kerusakan otot dapat disebabkan oleh latihan yang menggunakan aksi otot eksentrik berkekuatan tinggi, seperti latihan ketahanan, plyometrics, dan downhill running, yang membutuhkan waktu pemulihan paling lama dan berdampak pada munculnya gejala kerusakan otot (purwanto, 2014).

Kerusakan otot rangka ditemukan bersamaan dengan gerakan aneh yang terjadi dalam olahraga. Tindakan pencegahan harus diambil karena kerusakan otot dapat menunda waktu pemulihan dan mempengaruhi kinerja fisik. Antisipasi kerusakan otot dengan menahan konsekuensi yang merugikan dan memperkuat reaksi otot positif dari tindakan bertingkah. Antioksidan dan penghambat NF-B p65 dapat mengurangi efek negatif dari aktivitas eksentrik. Stimulasi ekspresi hsp 27kDa diduga dapat meningkatkan kekuatan respon positif (purwanto, 2014).

Latihan dapat menyebabkan kerusakan otot biasanya disebabkan karena pengaruh "sintesis protein" dan "latihan eksentrik" memiliki hubungan dengan hipertrofi otot. Meskipun hipertrofi otot bisa terjadi tanpa adanya kerusakan otot namun, peningkatan reaktif oksigen spesies (ROS) akibat olahraga dan respon inflamasi lebih sering dikaitkan dengan hipertrofi otot. Adaptasi otot membutuhkan produksi ROS yang diinduksi saat latihan rendah hingga sedang; jika melebihi ambang batas tertentu, tidak hanya manfaat fisiologis yang berkurang, tetapi juga kerusakan otot memburuk. Meskipun stres oksidatif dan peradangan pasca latihan penting untuk pemulihan dan adaptasi tapi konsumsi nutrisi yang seimbang mampu membantu menghasilkan perbaikan yang diharapkan untuk adaptasi otot. Konsumsi nutrisi berkala harus dipertimbangkan untuk mendukung latihan agar mencapai keseimbangan antara potensi untuk pemulihan dan adaptasi (Xu *et al.*, 2022).

Beberapa penelitian mengungkapkan mekanisme potensial kerusakan serat otot dan membran otot manusia yaitu Duchenne distrofi otot disebabkan oleh kurangnya distrofin pada permukaan sitoplasma dari membran otot

rangka, degradasi sitoskeleton merupakan mekanisme potensial yang penting dalam kerusakan otot (Xu *et al.*, 2022).

Sebagian besar menyerang anak laki-laki, Duchenne adalah penyakit otot fatal yang membunuh sebelum usia 30 tahun. Ditandai dengan kelemahan progresif dan pengecilan otot progresif. Pasien dengan Duchenne biasanya mulai menunjukkan tanda kelemahan otot sekitar usia dua atau tiga tahun, menjadi bergantung pada kursi roda antara usia sepuluh dan dua belas tahun, dan akhirnya meninggal karena gagal napas atau gagal jantung dalam lima belas tahun ke depan. Pada tahun 1986, ditemukan bahwa gen tersebut disebabkan karena distrofi otot Duchenne (DOD). Dystrophin, protein besar yang memberikan stabilitas struktural membran plasma sel otot, biasanya diproduksi oleh gen ini. Dystrophin adalah komponen kompleks protein terkait membran yang berfungsi sebagai penghubung mekanis antara matriks ekstraseluler, yang berfungsi sebagai pendukung eksternal, dan aktin, yang merupakan komponen signifikan dari sitoskeleton internal sel otot. Defisiensi dystrophin adalah ciri khas distrofi otot. Meskipun protein ini hanya menyumbang 0,002% dari protein otot rangka, keberadaannya mutlak diperlukan untuk menjaga integritas membran sel otot.  $Ca^{2+}$  bocor ke dalam sel otot secara terus menerus tanpa adanya dystrophin. Enzim pemecah protein yang dikenal sebagai protease yang menyebabkan kerusakan serat otot diaktifkan oleh  $Ca^{2+}$  ini. Penyakit ini ditandai dengan fibrosis dan pengecilan akibat kerusakan otot (Lauralee, 2018).

### **Creatin Kinase sebagai Biomarker Penanda Kerusakan Otot**

Creatin kinase merupakan suatu enzim yang berfungsi dalam pembentukan creatinin fosfat yang merupakan tempat penyimpanan energi dalam otot. Aktivitas serum creatine kinase (CK) secara rutin digunakan untuk memantau kadar kerusakan otot (Siracusa *et al.*, 2016). Enzim kreatin kinase atau kreatin fosfokinase (CPK) merupakan enzim yang berfungsi untuk mengkatalisis fosforilasi kreatin. Enzim CK merupakan suatu molekul dimerik yang terdiri dari sepasang monomer berbeda yang disebut M (Muscle = Berkaitan dengan otot), dan B (Cerebrum = Berkaitan dengan otak). Kombinasi kedua sub unit menghasilkan tiga isoenzim kreatin kinase yang berbeda yaitu CK1 (CK-BB), CK2 (CK-MB), dan CK3 (CK-MM). Transfosforilasi antara ATP dan fosfokreatin bersifat reversibel melalui Enzim

CK. Ada dua jenis mitokondria oktamerik, yaitu sMtCK (sarkomerik) dan uMtCK (ubiquitous), menurut Saryono (2014). Kreatin kinase adalah salah satu dari beberapa (LDH, mioglobin, troponin, dll.) sebagai penanda, dikenal sebagai kerusakan otot akibat olahraga. Gejala berikut dapat dikaitkan dengan aktivasi serum Creatin Kinase (CK) yaitu nyeri otot, kekuatan, rentang gerak, dan lain-lain (Koch, Pereira and Machado, 2014).

Resistance exercise dapat menyebabkan kerusakan lokal pada jaringan otot. Kerusakan ini dapat diamati pada sarkolema, lamina basal, serta, dalam elemen kontraktil dan sitoskeleton. Kerusakan jaringan otot biasanya disertai dengan pelepasan enzim seperti creatine kinase (CK), laktat dehidrogenase, mioglobin dan protein lainnya ke dalam darah. Serum CK telah diusulkan sebagai salah satu indikator kerusakan otot indirect terbaik karena kemudahan untuk identifikasi dan biaya tes yang relatif murah. Selanjutnya, CK telah digunakan sebagai indikator intensitas latihan dan penanda diagnosa overtraining. Selanjutnya, faktor-faktor seperti beban volume latihan, kelompok otot yang terlibat, jenis kelamin, dan trauma pada otot dapat mempengaruhi peningkatan kadar creatin kinase (Koch, Pereira and Machado, 2014).

Kerusakan otot akibat latihan adalah kejadian yang umum terjadi setelah beraktivitas dengan komponen eksentrik yang tinggi. Dalam bulutangkis yang pergerakannya menggunakan komponen otot eksentrik, seperti smash, lunge berulang, dan lari mengejar shuttle yang intens. Secara khusus, perlambatan dan penghentian setelah sprint, atau saat mendarat setelah smash, dapat menyebabkan kerusakan pada otot kaki. Gejala yang berbeda menyertai kerusakan otot, termasuk nyeri otot, peningkatan kadar protein otot dalam plasma, pembengkakan, peradangan, dan gangguan fungsi otot berupa pengurangan progresif kekuatan maksimal (Perez, 2020).

Kreatin kinase mempunyai *half-time* yang sangat pendek untuk berkurang setengah dari nilai awalnya, aktivitasnya meningkat sangat cepat. Puncak peningkatannya pada 6-12 jam dan kembali normal dalam 24-48 jam setelah injuri akut pada otot. Cedera otot dalam jangka waktu yang lama dapat meningkatkan konsentrasi CK. Luka tusuk yang disebabkan karena jarum suntik dapat meningkatkan aktivitas CK 3-4 kali. Deteksi peningkatan aktivitas CK dalam serum berguna sebagai indikator cedera atau otot. Kadar enzim CK

sebanding dengan derajat kerusakan jaringan dan akan menurun seiring dengan proses penyembuhan luka (Saryono, 2014).

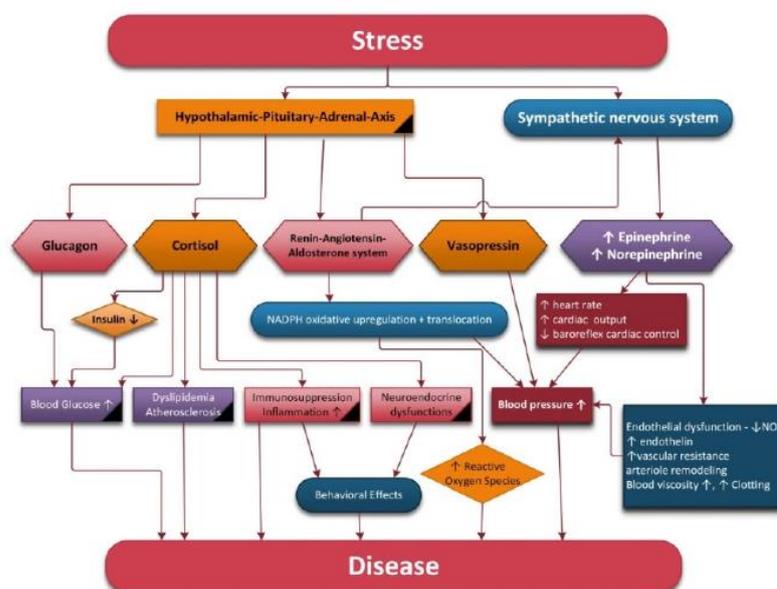
Deteksi kadar kerusakan otot setelah latihan eksentrik dapat dilakukan dengan metode langsung (*direct method*) dan tak langsung (*indirect method*). Pengukuran secara langsung dengan menggunakan biopsi otot, serta *magnetic resonance imaging techniques* (MRI). Pemeriksaan kerusakan otot secara tidak langsung dapat dilakukan dengan pemeriksaan serum *creatin kinase* dalam darah, analisis protein otot, DOMS, kemampuan fisik (*motor performance*), kekuatan otot, aktivitas *electromyographic* (EMG), *range of motion* (ROM) (Sari, 2019).

## 2.5. Tinjauan Terkait Inflamasi

Olahraga dikaitkan dengan turunnya detak jantung, pernapasan serta tekanan darah pasca berolahraga. Peningkatan fungsi baroreflex, jantung dan endotel, meningkatnya aliran darah otot rangka dan redistribusi aliran darah yang lebih efektif selama latihan. Respon proinflamasi yang dihasilkan oleh aktivitas fisik berperan dalam proses pemulihan otot yang rusak dan berkaitan dengan situasi kompleks di mana sel inflamasi meningkatkan cedera dan perbaikan melalui aksi gabungan dari radikal bebas, faktor pertumbuhan, dan kemokin. Kerusakan otot menghasilkan respon inflamasi di mana neutrofil menginvasi dengan cepat diikuti oleh makrofag, yang bertepatan dengan perbaikan otot yang melibatkan aktivasi dan proliferasi sel diikuti dengan diferensiasi. Berbeda dengan aktivitas fisik intensitas tinggi menunjukkan peran destruktif dari latihan intensitas tinggi, studi ini menunjukkan bahwa sel inflamasi dapat meningkatkan mekanisme cedera dan perbaikan (Daniela et al., 2022).

Selama berolahraga, terjadi peningkatan respirasi dan pengambilan oksigen dengan tujuan mengarahkan jumlah O<sub>2</sub> yang tinggi ke organ vital tubuh. Setelah oksigen digunakan, banyak ROS/NRS yang dihasilkan. Tingkat ROS yang tinggi menginduksi aktivasi pertahanan antioksidan dan ini akan menyebabkan adaptasi positif dari sistem saraf. Pelatihan dapat menurunkan stres oksidatif sistemik dan juga berdampak positif pada pertahanan antioksidan. Satu sesi latihan yang berlebihan (dalam volume besar atau dalam jangka waktu yang lama) dapat menyebabkan tekanan oksidatif, yang menyebabkan terganggunya aktivitas fisik. Namun, jika latihan terus

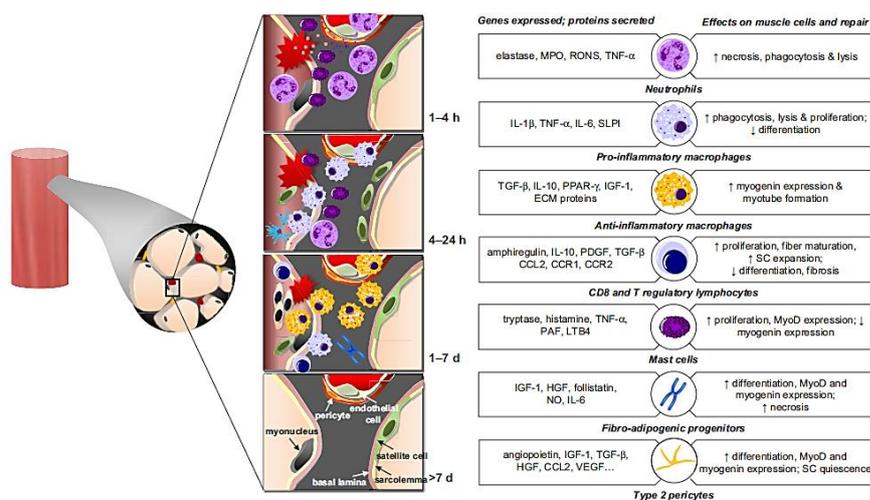
dilakukan, tubuh dapat beradaptasi dengan aktivitas fisik yang melelahkan dengan meningkatkan ekspresi enzim antioksidan. Jika stres oksidatif berkurang akibat kapasitas antioksidan meningkat dengan latihan maka proses inflamasi akan lebih sedikit terjadi selama latihan. Latihan fisik adalah alat klinis yang efisien yang membatasi peradangan kronis menggunakan mekanisme kompleks untuk mengaktifkan sistem kekebalan tubuh, yang meningkatkan tingkat sitokin anti-inflamasi dan membatasi tingkat sitokin pro inflamasi dalam plasma darah dan serum (Daniela *et al.*, 2022).



**Gambar 2. 11** Modifikasi Fisiologi setelah stimulasi pada sistem saraf simpatik  
**Sumber :** (Daniela *et al.*, 2022)

Kata inflamasi merujuk kepada serangkaian proses bawaan non-spesifik yang saling berkaitan erat dan diaktifkan sebagai respons terhadap invasi asing, kerusakan jaringan, atau keduanya. Tujuan peradangan adalah membawa fagosit dan protein plasma ke tempat invasi atau kerusakan untuk dapat (1) mengisolasi, menghancurkan, atau menginaktivkan penyerang; (2) membersihkan debris; dan (3) mempersiapkan proses penyembuhan dan perbaikan. Respons peradangan keseluruhan sangat mirip satu sama lain tanpa memandang apapun pemicunya (invasi bakteri, cedera kimiawi, atau trauma mekanis) meskipun mungkin terlihat beberapa perbedaan ringan, bergantung pada bahan yang mencederai atau tempat kerusakan (lauralee, 2018).

Mekanisme kerusakan otot akibat latihan diringkas menjadi dua fase umum: fase awal dipicu oleh kontraksi eksentrik; yang menyebabkan peningkatan permeabilitas membran sel otot kemudian  $\text{Ca}^{2+}$  masuk ke ekstraseluler dan dalam serat otot mengaktifkan berbagai protease yang peka terhadap  $\text{Ca}^{2+}$  (calpains). Aktivasi Calpain menyebabkan proteolisis protein sitoskeletal dan kostamerik. Fase sekunder ditandai dengan peningkatan sarkoplasmic ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Hal ini berhubungan dengan pengeluaran respon pro inflamasi dan peningkatan stres oksidatif yang selanjutnya mempengaruhi struktur dan fungsi sel. Neutrofil digantikan oleh makrofag M1 dan pada tahap akhir kerusakan otot dan mengeluarkan beberapa sitokin inflamasi yaitu TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$  dan IL-6. Pergeseran dari makrofag M1 ke M2 dikaitkan dengan aktivasi sel satelit dan regenerasi serat otot selanjutnya. Neutrofil dan makrofag juga mengekspresikan tumor necrosis factor (TNF), yang mengaktifkan jalur ubiquitin-proteasome yang mengatur proteolisis (Bongiovanni *et al.*, 2020).



**Gambar 2.12** ilustrasi tipe sel yang terlibat dalam otot skeletal saat olahraga

Sumber : Peake, J.M. et al. 2017

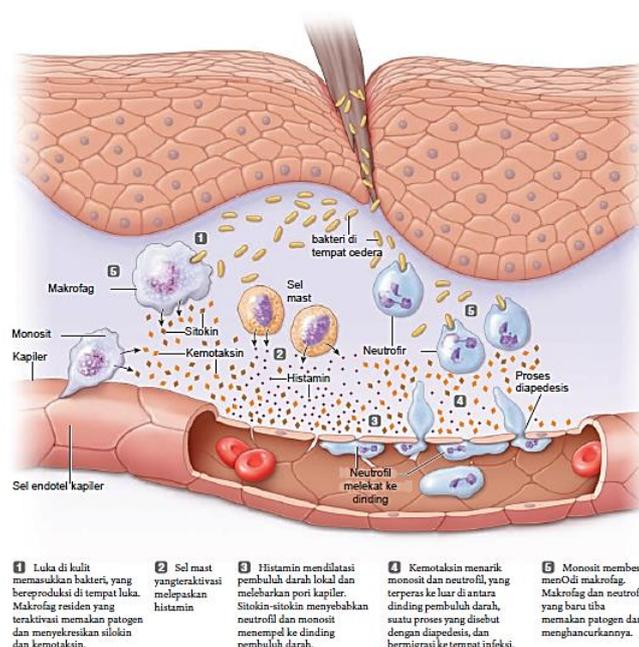
Peningkatan konsentrasi sirkulasi IL-6 dengan olahraga dimediasi oleh upregulasi transkripsional dan pelepasan IL-6 dengan kontraksi serat otot rangka. Meskipun banyak sitokin diekspresikan dalam otot rangka "myokines" setelah latihan berkepanjangan, IL-6 adalah satu-satunya myokine yang diketahui dilepaskan dari otot rangka ke dalam sirkulasi dalam konsentrasi yang cukup besar. IL-6 juga diatur di jaringan adiposa dan dilepaskan sebagai respons terhadap olahraga, menunjukkan bahwa IL-6 yang diturunkan dari

jaringan adiposa juga dapat berkontribusi pada peningkatan sistemik IL-6 dengan olahraga (Bongiovanni *et al.*, 2020).

Ciri terjadinya peradangan yaitu :

- (1) Vasodilatasi pembuluh darah lokal, yang mengakibatkan aliran darah lokal yang berlebihan
- (2) Meningkatnya permeabilitas kapiler, mengakibatkan kebocoran cairan yang signifikan ke dalam ruang interstitial
- (3) Pembekuan cairan di ruang interstitial sebagai akibat dari peningkatan kebocoran kapiler fibrinogen dan protein lainnya
- (4) Banyaknya granulosit dan monosit bermigrasi ke jaringan; dan
- (5) Pembengkakan sel pada jaringan.

Histamin, bradikinin, serotonin, prostaglandin, berbagai produk reaksi sistem komplemen, produk reaksi sistem pembekuan darah, dan berbagai limfokin yang dilepaskan oleh sel T. Beberapa zat ini memiliki kemampuan untuk mengaktifkan sistem makrofag secara signifikan, mendorong makrofag untuk mulai melahap jaringan yang rusak dalam beberapa jam. Namun, sel jaringan hidup dapat dirusak oleh makrofag di beberapa titik (Hall, 2018).



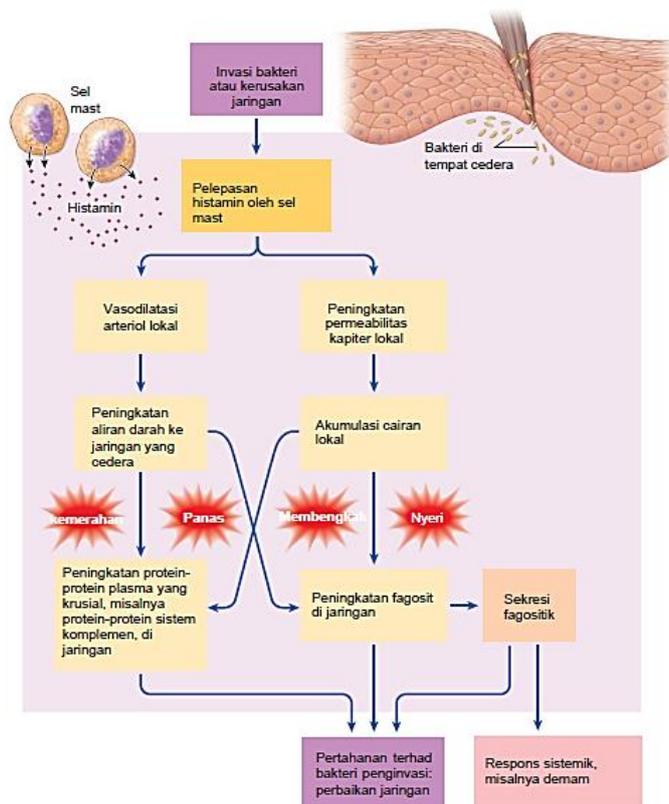
Gambar 12-2 Langkah-langkah yang membentuk inflamasi. Kemotaksin yang dilepaskan di tempat cedera menarik fagosit ke tempat kejadian. Pematikan leukosit yang bermigrasi dari darah ke jaringan dengan berperilaku seperti amuba dan terperas melalui pori-pori kapiler. Sel mast menyekresikan histamin yang mendilatasi pembuluh dan melebarkan pori. Makrofag menyekresikan sitokin yang menimbulkan berbagai efek sistemik dan lokal.

**Gambar 2. 13** Langkah-langkah pembentukan Inflamasi  
Sumber : Sherwood, 2018

Menurut Sherwood (2018), peristiwa yang berkontribusi terhadap reaksi peradangan:

1. Ketika mikroorganisme masuk melalui celah di jaringan luar kulit (atau melalui jalur lain), makrofag yang ada di ruang tersebut dengan cepat memakan organisme asing, memberikan perlindungan terhadap penyakit selama jam-jam pertama sebelum jaringan lain diberlakukan. Makrofag juga mengeluarkan zat sintetis seperti kemotoksin dan sitokin yang mendapatkan berbagai reaksi aman.
2. Setelah serangan mikroba, arteriol di ruang tersebut mengembang, memperlancar aliran darah ke tempat cedera. Histamin yang dilepaskan oleh sel mast di area jaringan yang rusak merupakan pendorong utama vasodilatasi lokal ini. Lebih banyak protein plasma dan leukosit fagositik, keduanya sangat penting untuk respon pertahanan, dibawa oleh peningkatan suplai darah lokal.
3. Marginesi adalah proses dimana neutrofil darah dan monosit menempel pada lapisan dalam endotelium kapiler di jaringan yang terkena. Leukosit yang bergerak melalui darah melambat di sepanjang bagian dalam pembuluh ini sebagai akibat dari Selectin, sejenis molekul adhesi sel (CAM) yang menonjol dari lapisan pembuluh ini. Penundaan ini memberikan kesempatan yang cukup bagi neutrofil dan monosit untuk meninjau variabel penggerak terdekat dari "sinyal SOS, seperti sitokin yang dibawa oleh makrofag penghuni di jaringan yang terinfeksi di sekitarnya.
4. Leukosit yang telah melekat kemudian meninggalkan pembuluh darah melalui mekanisme diapedesis. Leukosit yang melekat tersebut, melakukan gerakan seperti amuba untuk masuk melalui pori kapiler (meskipun leukosit berukuran lebih besar daripada pori) dan kemudian merangkak maju menuju area yang terluka. Neutrofil sampai paling cepat di lokasi peradangan karena mobilitasnya lebih tinggi daripada monosit.
5. Makrofag jaringan residen serta leukosit yang keluar dari darah dan bermigrasi ke tempat peradangan segera dibantu oleh sel fagosit baru yang diambil dari sumsum tulang. Dalam beberapa jam setelah respons peradangan, jumlah neutrofil dalam darah dapat meningkat empat hingga lima kali dari jumlah normal. Juga terjadi peningkatan produksi monosit yang bertahan lebih lama,

tetapi dimulai lebih lambat sehingga sel prekursor makrofag ini tersedia dalam jumlah yang



**Gambar 2. 14** Manifestasi dan Hasil Akhir Inflamasi  
Sumber : Sherwood, 2018

Akumulasi protein plasma yang bocor di cairan interstisium meningkatkan tekanan osmotik koloid cairan interstisium lokal. Selain itu, meningkatnya aliran darah lokal meningkatkan tekanan darah kapiler. Karena kedua tekanan ini cenderung memindahkan cairan keluar kapiler, perubahan tersebut mendorong ultrafiltrasi dan mengurangi reabsorpsi cairan di kapiler. Hasil akhir dari pergeseran keseimbangan cairan ini adalah edema lokal. Karena itu, pembengkakan yang biasa terlihat menyertai peradangan disebabkan oleh perubahan-perubahan vaskular yang dipicu oleh histamin. Demikian juga, manifestasi makro lain pada peradangan, misalnya kemerahan dan panas, sebagian besar disebabkan oleh meningkatnya aliran darah arteri ke jaringan yang rusak. Nyeri disebabkan oleh peregangan lokal di dalam jaringan yang membengkak dan oleh efek langsung bahan-bahan yang diproduksi lokal pada ujung reseptor neuron-neuron aferen yang mensarafi daerah tersebut. Karakteristik proses peradangan yang mudah kita amati yaitu (pembengkakan, kemerahan, panas, dan nyeri) berkaitan dengan tujuan utama perubahan vaskular

di daerah yang cedera sehingga jumlah fagosit leukositik dan protein-protein plasma krusial meningkat di daerah tersebut (lauralee, 2018).

Penggunaan otot yang berlebihan pada saat olahraga atau cedera otot dapat mengakibatkan respon peradangan (inflamasi) yang mengakibatkan invasi neutrofil yang diikuti dengan makrofag. Makrofag yang teraktivasi menghasilkan berbagai mediator seperti pro-inflamatori. Mediator tersebut misalnya faktor nekrosis tumor (TNF), interleukin-1 (IL-1), Interleukin-6, faktor perangsang-koloni granulosit-monosit (GM-CSF), faktor perangsang koloni granulosit (G-CSF) dan faktor perangsang-koloni monosit (M-CSF) (Bongga, 2018). Penemuan terbaru yang melibatkan sitokin interleukin-6 pada berbagai disiplin ilmu mengungkapkan peran sitokin tersebut dalam berbagai proses biologis. Jalur sintesis IL-6 merupakan salah satu mekanisme yang menghubungkan peradangan dengan proses terjadinya penyakit tersebut. Selain itu, bukti baru mengarah ke IL-6 sebagai salah satu mediator koordinasi langsung antara sistem kekebalan adaptif dan bawaan (Almushyahadah *et al.*, 2013).

**Tabel 2. 1** Intervensi dan perubahan kadar IL-6

↑, increase; ↓, decrease; ↔ no effect of the intervention.

Intervention	Effect on exercise-induced IL-6	References
Reduction of pre-exercise glycogen content	Muscle IL-6 mRNA ↑ Plasma IL-6 ↑	(24, 71, 171)
Supplementation with carbohydrates	Muscle IL-6 mRNA ↔ Plasma IL-6 ↓	(37, 179, 189)
Hyperglycemia in Type 1 diabetes	Plasma IL-6 ↑	(42)
Nicotinic acid (inhibits lipolysis)	Muscle IL-6 mRNA ↔ Adipose tissue IL-6 mRNA ↑ Plasma IL-6 ↑	(62)
Hot environment	Plasma IL-6 ↑	(164)
Indomethacin (NSAID)	Plasma IL-6 ↓	(143)
O <sub>2</sub> supplementation to COPD patients	Plasma IL-6 ↓	(188)
Supplementation with antioxidants	Muscle IL-6 mRNA ↔ Plasma IL-6 ↓	(37, 179, 189)

Sumber: (Fischer, 2016)

Beberapa senyawa kimia yang dilepaskan oleh makrofag, yaitu interleukin 1, interleukin 6, dan faktor nekrosis tumor (*tumor necrosis factor*, TNF) secara bersama bertindak untuk menghasilkan efek yang beragam baik secara lokal maupun ke seluruh tubuh, semuanya dipersiapkan untuk mempertahankan tubuh melawan infeksi atau kerusakan jaringan. Mereka memacu inflamasi dan bertanggung jawab terhadap manifestasi sistemik yang menyertai infeksi. (*Faktor nekrosis tumor* dinamai atas perannya dalam membasmi sel kanker tetapi sel ini juga menimbulkan efek lainnya). Fungsi peningkatan suhu tubuh dalam melawan

infeksi belum diketahui pasti. Demam merupakan manifestasi sistemik umum peradangan, mengisyaratkan bahwa peningkatan suhu memiliki peran menguntungkan yang penting dalam respons peradangan secara keseluruhan, seperti didukung oleh bukti-bukti terakhir. Suhu yang lebih tinggi tampaknya meningkatkan fagositosis, meningkatkan kecepatan berbagai aktivitas peradangan dependen enzim, dan menghambat perkembangbiakan bakteri dengan meningkatkan kebutuhan bakteri terhadap besi. Menyelesaikan masalah kontroversial mengenai apakah demam dapat bermanfaat merupakan hal yang sangat penting, karena luasnya pemakaian obat yang menekan demam (Lauralee, 2018).

Di dalam sistem imun, sel T memainkan peranan yang penting dalam regulasi proliferasi dan diferensiasi sel B menjadi sel-sel pembentuk antibodi sebagai respon terhadap adanya rangsangan. Ekspresi interleukin (IL)-6 ditemukan meningkat dalam jaringan adiposa individu obesitas dan banyak lagi di omentum daripada di lemak subkutan. Sirkulasi IL-6 meningkat secara proporsional sesuai dengan indeks massa tubuh (BMI). Level plasma IL-6 meningkat lebih dari dua kali lipat di seluruh jaringan adiposa subkutan bagian perut pada subjek obesitas. Kadar plasma IL-6 juga dikaitkan dengan resistensi insulin (Kim and Bajaj, 2014).

Interleukin 6 diproduksi oleh sejumlah sel-sel efektor imun dan non imun termasuk sel-sel T dan B, fibroblas, monosit, keratinosit, sel-sel mesangial, sel glial, sel endotel dan juga beberapa sel tumor. Produksi interleukin 6 dapat diinduksi oleh berbagai sitokin antara lain interleukin-1 (IL-1), tumor necrosis factor (TNF), platelet derived growth factor (PDGF), juga infeksi bakteri dan virus. Reseptor IL-6 terutama pada sel-sel efektor imun seperti sel T dan sel B, monosit, makrofag, dan neutrofil juga pada sel-sel efektor non imun seperti sel-sel islet pankreas dan hepatosit (Kim and Bajaj, 2014).

Interleukin-6 pertama kali dikloning dan dikarakterisasi pada pertengahan 1980-an oleh beberapa kelompok peneliti yang menilai produksi imunoglobulin dan protein fase akut dalam garis sel yang berbeda. Pada awalnya dicirikan seperti interferon- $\beta$  dan sejak itu menjadi referensi sitokin untuk subkelompok molekul. IL-6 milik keluarga empat- $\alpha$ -helix yang lebih luas, di mana para anggotanya berada secara struktural ditentukan oleh struktur 3D dari empat bundel dari heliks, selain IL-6 yang juga termasuk IL-11, IL-27, IL-31, ciliary neurotrophic faktor,

cardiotrophin-1, cardiotrophin-like sitokin, LIF, neuropoietin dan oncostatin (Muñoz-Cánoves *et al.*, 2013).

Interleukin-6 merupakan sitokin proinflamasi yang bersifat pleiotropik dan merupakan pengatur respon fase akut pada suatu penyakit. IL-6 diproduksi di beberapa jenis sel limfoid maupun non limfoid antara lain sel T, sel B, monosit, fibroblast, keratinosit, sel endotel, sel mesangial dan beberapa sel tumor, yang artinya sitokin ini tidak spesifik untuk menunjukkan parameter penyakit tertentu. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Oky *et al.*, (2014) menunjukkan hasil peningkatan kadar IL-6 pada pasien penyakit *Rheumatoid Arthritis* sehingga IL-6 dapat digunakan sebagai indikator progresifitas penyakit RA. Otot rangka yang berkontraksi dapat mensintesis dan melepaskan interleukin-6 ke dalam interstitium serta ke dalam sirkulasi sistemik sebagai respon terhadap latihan. Beberapa sumber telah membuktikan bahwa otot yang berkontraksi berkontribusi pada sebagian besar IL-6 yang ada di sirkulasi sebagai respon terhadap latihan. Besarnya respons IL-6 yang diinduksi selama olahraga tergantung pada intensitas dan terutama durasi latihan. Beberapa mekanisme dapat menghubungkan antara kontraksi otot Sintesis IL-6: Perubahan homeostasis kalsium, gangguan ketersediaan glukosa, dan peningkatan pembentukan spesies oksigen reaktif. Melalui efeknya pada hati, jaringan adiposa, aksis hipotalamus-hipofisis-adrenal (HPA) dan leukosit, dan IL-6 dapat memodulasi respons imunologis dan metabolik terhadap olahraga (Fischer, 2016).

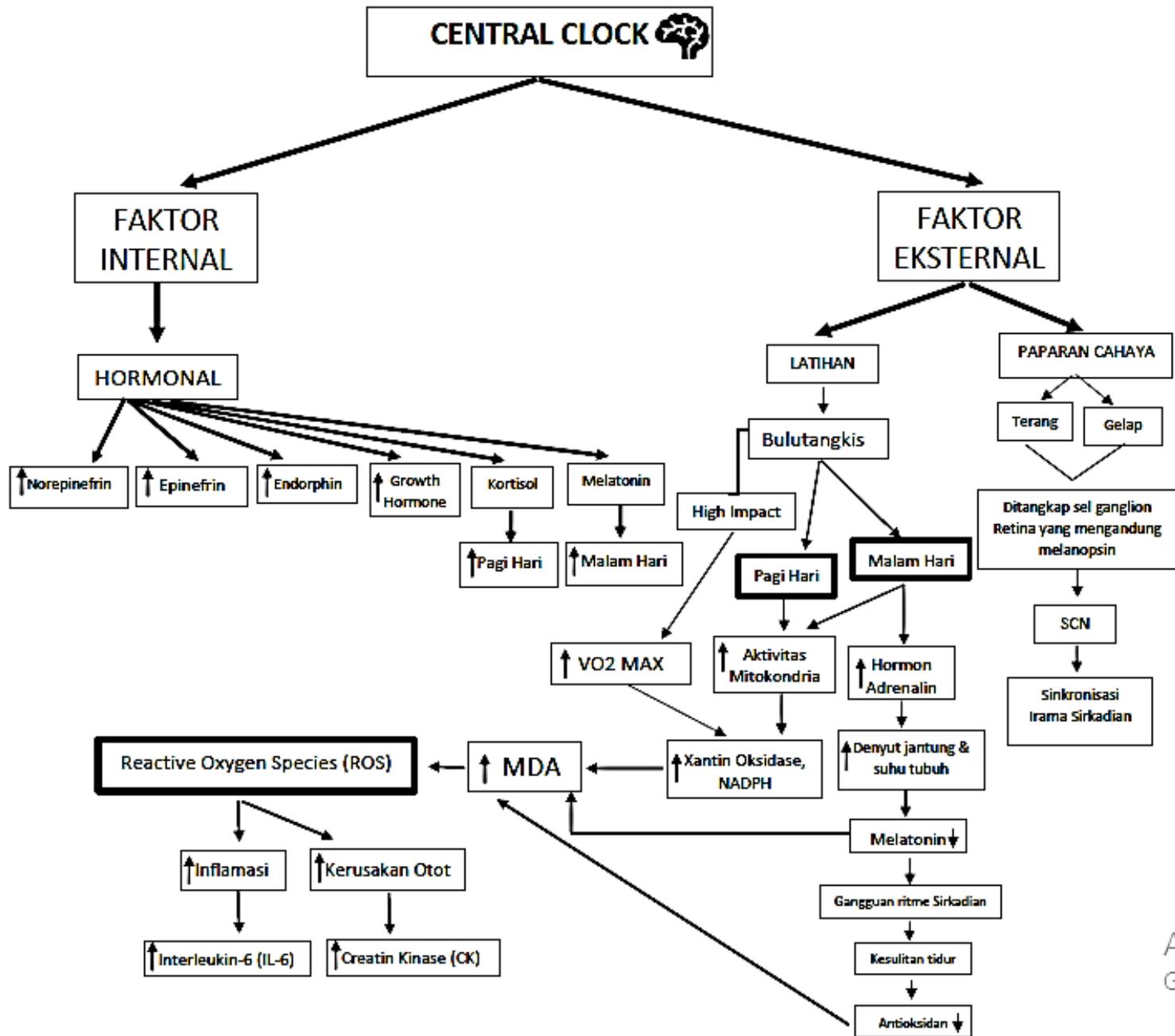
Trauma akibat luka bakar, operasi besar, dan sepsis, menyebabkan peningkatan kadar IL-6 serta peningkatan TNF- dan IL-1 yang menyertainya. Kadar plasma IL-6 meningkat terus dalam kondisi ini dan dikaitkan dengan banyak indikator keparahan penyakit, termasuk skor klinis, stres setelah pembedahan dan trauma, kemungkinan kegagalan banyak organ dan septik. syok, dan kematian secara keseluruhan. IL-6 mempunyai efek biologis yang berbeda beda, termasuk aktivasi limfosit B dan limfosit T, sistem koagulasi, dan modulasi hematopoiesis. Bersama-sama dengan TNF, IL-1 dan IL-6 merangsang sel hati untuk memproduksi berbagai protein C-reaktif dan fibrinogen, yang berperan pada pembunuhan mikroba dan melindungi lokasi infeksi (Schulte, Bernhagen and Bucala, 2013).

Otot skeletal menghasilkan dan melepaskan IL-6 yang signifikan setelah latihan yang lama dan dianggap sebagai myokine. Pensinyalan IL-6 telah dikaitkan dengan stimulasi pertumbuhan otot hipertrofik dan miogenesis melalui regulasi

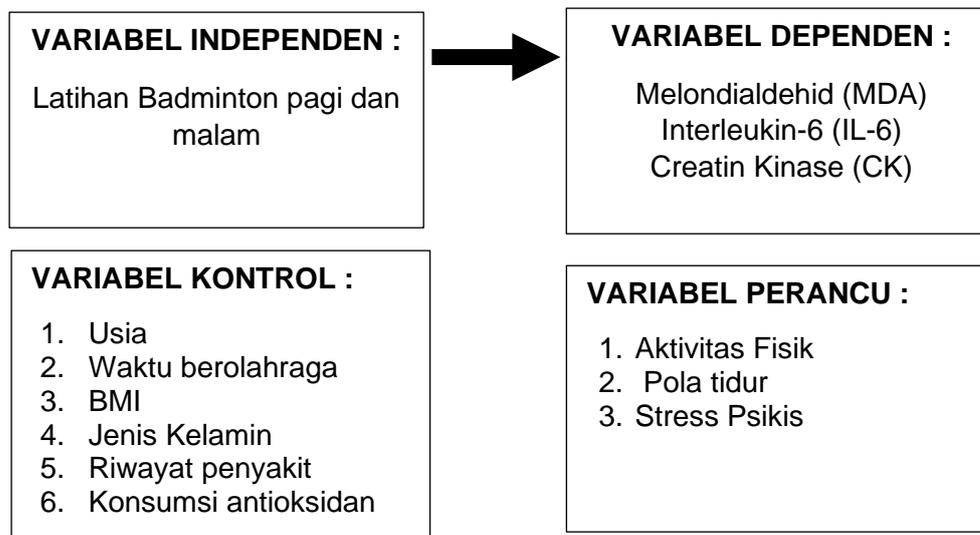
kapasitas proliferasi sel punca otot. Efek menguntungkan dari IL-6 termasuk pengaturan metabolisme energi, yang terkait dengan kapasitas otot yang berkontraksi secara aktif untuk mensintesis dan melepaskan IL-6. Tindakan merusak untuk IL-6 juga telah dilaporkan seperti peningkatan atrofi dan pengecilan otot (Muñoz-Cánoves *et al.*, 2013).

Neutrofil dan makrofag memasuki jaringan yang cedera selama fase awal inflamasi, di mana mereka menghasilkan spesies oksigen reaktif, yang memiliki efek positif dan negatif. Ketidakseimbangan antara pro-oksidan, juga dikenal sebagai radikal bebas, dan antioksidan bertanggung jawab untuk mencegah terjadinya kerusakan jaringan dikenal sebagai stres oksidatif yang terjadi ketika jumlah spesies oksigen reaktif yang dihasilkan melebihi pertahanan bawaan antioksidan. Oksigen reaktif dan spesies nitrogen reaktif memainkan peran penting dalam penyembuhan luka dan membutuhkan kondisi homeostatis untuk mencegah stres oksidatif. Hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), superoksida ( $O_2^\bullet$ ), dan radikal hidroksil ( $OH^\bullet$ ) adalah komponen utama dari spesies oksigen reaktif (ROS) yang meliputi spesies nitrogen reaktif (RNS) seperti oksida nitrat ( $NO^\bullet$ ), dinitrogen oksida ( $NO_2^\bullet$ ), nitroksil anion ( $HNO$ ), dan peroksinitrit ( $ONOO^-$ ), yang dapat terbentuk saat superoksida dan oksida nitrat bereaksi. Adanya kelebihan  $O_2$  pada luka dan adanya kelimpahan NO dapat meningkatkan frekuensi tekanan oksidatif sehingga memperlambat proses penyembuhan luka. Tekanan oksidatif mengambil bagian dalam tahap provokatif, proliferasi, dan renovasi dengan memperluas angiogenesis dan memengaruhi sel-sel berbeda yang mengingat sel endotel untuk menghantarkan nitrit oksida (Arief dan Widodo, 2013).

2.6 KERANGKA TEORI



## 2.7 KERANGKA KONSEP



## 2.8 HIPOTESIS PENELITIAN

1. **HO** : Tidak terdapat pengaruh kadar melondialdehid, interleukin-6, dan creatin kinase setelah Latihan pagi atau malam hari pada atlet bulutangkis.
2. **H1** : Terdapat pengaruh kadar melondialdehid, interleukin-6, dan creatin kinase setelah Latihan pagi atau malam hari pada atlet bulutangkis.