

TESIS

**ANALISIS PERUBAHAN KADAR MALONDIALDEHID (MDA) DAN
LAKTAT DEHIDROGENASE (LDH) SETELAH EVENT
BERSEPEDA 30 KM PADA KOMUNITAS
SEPEDA MAKASSAR**

**ANALYSIS OF CHANGES IN MALONDIALDEHYDE (MDA) AND
LACTATE DEHYDROGENASE (LDH) LEVELS AFTER
A 30 KM CYCLING EVENT IN THE MAKASSAR
BIKE COMMUNITY**

ANDI EKA NUR WAHYU

P062202013



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

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PERUBAHAN KADAR MALONDIALDEHID (MDA) DAN
LAKTAT DEHIDROGENASE (LDH) SETELAH EVENT
BERSEPEDA 30 KM PADA KOMUNITAS
SEPEDA MAKASSAR**

**ANALYSIS OF CHANGES IN MALONDIALDEHYDE (MDA) AND
LACTATE DEHYDROGENASE (LDH) LEVELS AFTER
A 30 KM CYCLING EVENT IN THE MAKASSAR
BIKE COMMUNITY**

DISUSUN DAN DIAJUKAN OLEH:

ANDI EKA NUR WAHYU

P062202013

PEMBIMBING:

1. Dr.dr.Irfan Idris, M.Kes
2. Dr.Djohan Aras, S.Ft.,Physio., M.Pd., M.Kes

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

HALAMAN PENGAJUAN

**ANALISIS PERUBAHAN KADAR MALONDIALDEHID (MDA) DAN
LAKTAT DEHIDROGENASE (LDH) SETELAH EVENT
BERSEPEDA 30 KM PADA KOMUNITAS
SEPEDA MAKASSAR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Ilmu Biomedik Konsentrasi Fisiologi

Disusun dan diajukan oleh

ANDI EKA NUR WAHYU

P062202013

Kepada

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**ANALISIS PERUBAHAN KADAR MALONDIALDEHID (MDA) DAN LAKTAT
DEHIDROGENASE (LDH) SETELAH EVENT BERSEPEDA 30 KM PADA
KOMUNITAS SEPEDA MAKASSAR**

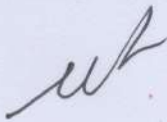
Disusun dan diajukan oleh

ANDI EKA NUR WAHYU
P062202013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Ilmu Biomedik
Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 Februari 2023
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama



Dr. dr. Irfan Idris., M. Kes
NIP: 19671103 199802 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Djohan Aras., S.Ft., Physio., M.Pd., M.Kes
NIP: 19550705 197601 1 009

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. dr. Budu., Ph.D., Sp.M(K), M. Med Ed
NIP: 19661231 199503 1 009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Eka Nur Wahyu

NIM : P062202013

Jurusan/Program Studi : Fisiologi/Ilmu Biomedik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis yang berjudul "Analisis Perubahan Kadar Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH) Setelah Event Bersepeda 30 km Pada Komunitas Sepeda Makassar" adalah karya ilmiah saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya di dalam naskah tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan/ditulis/diterbitkan sebelumnya, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini, disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya.

Makassar, 12 Januari 2023

Yang Membuat Pernyataan



Andi Eka Nur Wahyu

PRAKATA

Saya bersyukur bahwa tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih kepada kedua orang tua tercinta, yang doa, dukungan, dan harapannya menjadi muasal kekuatan dan semangat saya selalu ada, bermula, dan berlipat ganda.

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksanakan dengan sukses dan dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi, dan arahan dari Dr. dr. Irfan Idris., M.Kes sebagai pembimbing utama dan Dr. Djohan Aras, S.Ft., Physio.,M.Pd.,M.Kes sebagai pembimbing pendamping. Saya menghaturkan terima kasih kepada Dr.dr.Ilhamjaya Pattelongi, M.Kes, Prof.Dr.dr.Andi Wardihan Sinrang, MS, dan Dr. Nukhrawi Nawir, M.kes, AIFO selaku penguji tesis dan memberi masukan untuk penulis dalam menyusun tesis ini.

Penghargaan yang tinggi juga saya sampaikan kepada Dr. Mushawwir Taiyeb yang telah membantu dan membimbing pelaksanaan penelitian di lapangan. Tak lupa juga, saya haturkan terima kasih kepada Kak Eka Saputra dan Ibu handayani, serta semua staf laboratorium yang telah banyak membantu kami pada saat penelitian di laboratorium HUM-RC RS Universitas Hasanuddin.

Kepada partner dan rekan-rekan penelitian terbaik saya; Maryam, Risna, Fani, dan dr. Donna, terima kasih atas bantuan dan saling mensupport selama melakukan penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin, Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin serta para dosen yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi diri saya sendiri, masyarakat luas, dan untuk pengembangan ilmu pengetahuan.

Penulis,

Andi Eka Nur Wahyu

ABSTRAK

ANDI EKA NUR WAHYU. **Analisis Perubahan Kadar Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH) Setelah Event Bersepeda 30 km Pada Komunitas Sepeda Makassar**” (dibimbing oleh Dr. dr. Irfan Idris., M,Kes dan Dr. Djohan Aras, S.Ft., Physio., M.Pd., M.Kes).

Intensitas bersepeda yang berlebihan dapat mengakibatkan stress oksidatif. Stress oksidatif dalam tubuh dapat diukur menggunakan MDA. MDA berpengaruh terhadap kerusakan otot yang memicu peningkatan kadar LDH setelah bersepeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kadar Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH) setelah event bersepeda 30 km pada komunitas sepeda makassar. Penelitian ini adalah pre-eksperimental dengan *one group pretest-posttest design* pada 30 subjek pesepeda pria usia 30-60 tahun. Pre-test dilakukan sebelum event bersepeda, kemudian post-test dilakukan 2 jam setelah event bersepeda 30 km. Sampel darah diuji menggunakan ELISA Kit. Data dianalisis menggunakan uji *wilcoxon* untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok usia, kecepatan, kategori latihan, IMT, VO2 max, dan perokok. Uji *mann-whitney* untuk mengetahui perbedaan perubahan kadar MDA dan LDH antar kategori kelompok. Uji korelasi *spearman* untuk melihat korelasi antara perubahan kadar MDA dengan LDH. Hasil penelitian menemukan bahwa setelah event bersepeda 30 km terjadi peningkatan MDA lebih besar pada kelompok usia 46-60 tahun, kecepatan cepat, kelompok *trained*, kelompok overweight, kelompok VO2 max buruk, dan pada kelompok perokok ($p < 0.05$). Sedangkan peningkatan LDH lebih besar pada kelompok usia 30-45 tahun, kecepatan cepat, kelompok *untrained*, kelompok overweight, kelompok VO2 max baik, dan pada kelompok non perokok ($p < 0.05$). Tidak ditemukan hubungan yang signifikan antara perubahan kadar MDA dengan LDH ($p = 0.60$) dengan arah hubungan negatif tidak searah sehingga perlu dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: pesepeda, malondialdehid, laktat dehidrogenase, stres oksidatif

ABSTRACT

ANDI EKA NUR WAHYU. **Analysis of Changes in Malondialdehyde (MDA) and Lactate Dehydrogenase (LDH) Levels After a 30 km Cycling Event in The Makassar Bike Community** (Supervised by Dr. dr. Irfan Idris., M.Kes and Dr. Djohan Aras, S.Ft., Physio., M.Pd., M.Kes).

Excessive cycling intensity can cause oxidative stress. Oxidative stress in the body can be measured using MDA. MDA affects muscle damage which triggers an increase in LDH levels after cycling. This study looks at the changes in Malondialdehyde and Lactate Dehydrogenase levels after a 30-km-cycling event in the Makassar bike community. This research is a pre-experimental study with a one-group pretest-posttest design on 30 male cyclists aged between 30 and 60 years old. The pre-test was carried out the day before the cycling event, and then the post-test was carried out 2 hours after the event. Blood samples were tested using an ELISA Kit. Data were analyzed using the Wilcoxon test to determine changes in MDA and LDH levels in the age group, speed, exercise category, BMI, VO2 max, and smokers. Mann-Whitney test was used to determine differences in changes in MDA and LDH levels between group categories. Spearman correlation was performed to determine the correlation between any changes in MDA and LDH levels. The results of the study found that after the 30-km-cycling event, there was a more significant increase in MDA in the 46-60 year age group, fast speed, trained group, overweight group, poor VO2 max group, and in the smoker group ($p < 0.05$). Meanwhile, the increase in LDH was more significant in the 30-45 year old group, fast speed, untrained group, overweight group, good VO2 max group, and the non-smoker's group ($p < 0.05$). No significant correlation was found between changes in MDA levels and LDH ($p = 0.60$) with a negative correlation, so it needs to be developed in further research.

Keywords: cyclists, malondialdehyde, lactate dehydrogenase, oxidative stress

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	I
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Tinjauan Tentang Olahraga Bersepeda.....	8
B. Tinjauan Tentang Usia, Kecepatan Rata-Rata, Kategori Latihan, IMT, VO2 Max, dan Merokok.....	11
C. Tinjauan Tentang Strava.....	14
D. Tinjauan Tentang Radikal Bebas.....	16
E. Tinjauan Tentang Malondialdehid (MDA)	19
F. Tinjauan Tentang Laktat Dehidrogenase(LDH)	25
G. Tinjauan Tentang Hubungan Antara Usia Kecepatan Rata-Rata, Kategori Latihan, IMT, VO2 Max, dan Merokok Terhadap Perubahan MDA dan LDH.....	28
H. Kerangka Teori.....	33
I. Kerangka Konsep.....	34
J. Hipotesis Penelitian.....	34
K. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif	35

BAB III METODE PENELITIAN.....	38
A. Desain Penelitian.....	38
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
C. Populasi dan Sampel.....	39
D. Variabel Penelitian.....	41
E. Prosedur Penelitian.....	42
F. Pengumpulan Data dan Analisis Data.....	43
G. Pengolahan Data.....	45
H. Analisis Data.....	45
I. Etika Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
A. Hasil Penelitian.....	48
B. Pembahasan.....	61
BAB V PENUTUP.....	69
A. Kesimpulan.....	69
B. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

No.Urut	Halaman
4.1 Distribusi Karakteristik Umum Subjek Pesepeda.....	49
4.2 Distribusi Hasil Pemeriksaan Baseline Responden Pesepeda.....	49
4.3 Perubahan Kadar MDA pada Kelompok Usia, Kecepatan Rata-Rata, Kategori Latihan, IMT, VO2 Max, dan Perokok....	51
4.4 Perubahan Kadar LDH pada Kelompok Usia, Kecepatan Rata-Rata, Kategori Latihan, IMT, VO2 Max, dan Perokok....	55
4.5 Korelasi perubahan kadar MDA dengan perubahan kadar LDH.....	60

DAFTAR GAMBAR

No.Urut	Halaman
2.1	Otot yang Bekerja Saat Bersepeda 9
2.2	<i>Power Zone</i> Dan <i>Recovery Zone</i> Pada Saat Mengayuh Pedal..... 10
2.3	Tahap Peroksidasi Lipid..... 18
2.4	Pembentukan MDA..... 22
2.5	Pembentukan dan Metabolisme MDA..... 23
2.6	Perbedaan Kadar Laktat dan LDH antara Perlakuan pada Kelompok Aerobik dan Anaerobik..... 28
2.7	Kerangka Teori.....33
2.8	Kerangka Konsep..... 34
3.1	Desain Penelitian..... 38
3.2	Prosedur Penelitian..... 42
4.1	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar MDA pada Kelompok Usia..... 53
4.2	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar MDA pada kelompok Kecepatan..... 54
4.3	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar MDA pada kelompok Kategori Latihan.....54
4.4	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar MDA pada kelompok IMT..... 54
4.5	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar MDA pada kelompok VO2 Max..... 55
4.6	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar MDA pada kelompok Merokok..... 55
4.7	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar LDH pada Kelompok Usia.....58
4.8	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar LDH pada kelompok Kecepatan.....58
4.9	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means

	Perubahan kadar LDH pada kelompok Kategori Latihan....	59
4.10	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar LDH pada kelompok IMT.....	59
4.11	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar LDH pada kelompok VO2 Max.....	50
4.12	Grafik Boxplot dan dan Estimated Marginal Means Perubahan kadar LDH pada kelompok Merokok.....	60
4.13	Grafik Scatter Plot Korelasi Perubahan MDA dengan Kadar LDH.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Kuesioner Awal Aktivitas Fisik.....	77
Lampiran 2. <i>Informed Consent</i>	79
Lampiran 3. Surat Persetujuan Etik.....	80
Lampiran 4. Surat Keterangan Selesai Meneliti.....	81
Lampiran 5. Hasil Analisis Data SPSS.....	82
Lampiran 6. Dokumentasi.....	93
Lampiran 7. Riwayat Hidup.....	95

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bersepeda adalah sebuah aktivitas fisik aerobik, juga dapat dikatakan sebagai olahraga sekaligus kegiatan berekreasi (Rusdiawan et al., 2020). Beberapa tahun terakhir, bersepeda dijadikan gaya hidup oleh sebagian masyarakat. Mereka tergabung dalam kelompok-kelompok kecil dan membentuk komunitas sepeda, dimana komunitas tersebut dibentuk untuk menyalurkan hobi. Bersepeda menyediakan kesempatan bagi individu untuk memasukkan aktivitas fisik ke dalam kehidupan sehari-hari (Oja et al., 2011).

Bersepeda menjadi aktivitas yang kini digandrungi banyak orang. Maka tak heran, jika setiap hari ada saja orang-orang baru yang menjajal olahraga ini. Merujuk data yang dikumpulkan oleh The Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), pada masa pandemi covid 19, olahraga bersepeda meningkat hingga mencapai 1.000 persen dan peningkatan produksi mencapai 30 persen. (D. R. Budi et al., 2021).

Kota Makassar menjadi salah satu kota yang memiliki kegiatan rutin untuk bersepeda bersama. Setiap pekan, diikuti oleh para pesepeda dari seluruh lapisan masyarakat Kota Makassar dan sekitarnya. Hasil observasi awal yaitu wawancara tidak terstruktur kepada anggota komunitas pesepeda yang aktif di Makassar, komunitas pesepeda Makassar terdiri dari 3 kelompok yaitu *Mountain Bike*, *Road Bike*, dan *Fun Bike* yang berjumlah lebih dari 100 orang. Pesepeda *Fun Bike* bersepeda selama 1 jam sebelum melakukan aktivitas kantor, sedangkan pada akhir pekan, pesepeda *Road Bike* bersepeda selama kurang lebih 4 jam dengan rute Makassar-Maros, Makassar-Pangkep, Makassar-Takalar, bahkan pernah menempuh Makassar-Bantaeng. Komunitas pesepeda ini diikuti oleh berbagai variasi usia mulai 20-60 tahun.

Sayangnya animo bersepeda tidak selalu dibarengi dengan edukasi yang cukup. Tak sedikit orang yang langsung memacu sepedanya selama berjam-jam ketika mereka mulai bersepeda, tanpa memerhatikan kapasitas fisiknya. Menurut Fonterra dalam Prasetyo (2015), Indonesia

merupakan negara di Asia Tenggara dimana 68% responden melakukan olahraga dengan intensitas, tipe, dan waktu hanya menyesuaikan dengan waktu senggang, tanpa memerhatikan dosis yang sesuai untuk latihan. Seharusnya semua olahraga yang dilakukan perlu memenuhi formula FITT untuk mempermudah penghitungan tingkat aktivitas fisik saat olahraga (Prasetyo, 2015).

Prinsip frekuensi, intensitas, tipe, dan time (FITT) merupakan penetapan dosis untuk olahraga termasuk olahraga bersepeda. Penelitian tentang pengetahuan pada Komunitas Gowes Puri Bolon Indah terhadap FITT, diketahui bahwa mereka melakukan kegiatan bersepeda hanya sekadar gowes dan tidak menentukan target agar bersepeda bisa bermanfaat bagi kebugaran fisik dan otot. (Wahyuni, 2021).

Olahraga yang kurang benar, tidak teratur, dan dosis latihan yang kurang tepat, dapat memengaruhi kondisi otot yang jelek atau kerusakan otot. Selain bersepeda menghasilkan dampak yang positif, menjadi lebih bugar dan lebih sehat, olahraga bersepeda juga sering dikaitkan dengan *spasme* otot, *keseleo*, *contusio*, kram, dan cedera patah tulang. (Lennard & Crabtree, 2005). Masih jarang orang berpikir tentang dampak negatif olahraga berlebihan terhadap kondisi otot. Pengaruh yang merugikan berupa perubahan kondisi otot ini belum banyak mendapatkan perhatian, maka masih perlu dilakukan penelitian. Kondisi otot yang jelek adalah: perubahan sel otot yang terjadi akibat stres oksidatif karena serangan radikal bebas selama dan sesudah olahraga yang berupa kerusakan otot. (Brancaccio et al., 2010).

Beberapa contoh dampak negatif berupa perubahan kondisi otot atau kerusakan otot akibat olahraga di masyarakat adalah pada olahraga rekreasi seperti bersepeda, tujuannya bersifat rekreatif atau manfaat dari aspek jasmani dan sosio psikologis, tetapi tidak jarang yang mengalami kondisi otot jelek, dengan keluhan nyeri dan sakit di otot terutama pada jarak tempuh yang lama. (Haywood, K. M. 2005).

Sebuah penelitian menunjukkan bahwa jarak tempuh dan kecepatan mempengaruhi peningkatan biomarker kerusakan otot. Pada pelari ultramarathon 200 km terbukti meningkatkan biomarker terkait dengan kerusakan otot dan kartilago, serta penanda anti-inflamasi sitokin IL-6 dan CRP (Kim et al., 2007).

Salah satu penyebab timbulnya perubahan kondisi otot pada olahraga ialah intensitas aktivitas fisik atau intensitas olahraga. Ketika *overtraining*, maka akan terjadi disregulasi metabolik, inflamasi sistemik, dan stres oksidatif, kerusakan otot dan terhambatnya ekspresi gen yang diperlukan untuk pemeliharaan massa otot. Pada latihan fisik, tidak hanya intensitas dari latihan yang memiliki dampak terhadap otot, tetapi juga waktu latihan terhadap respon otot (Gea et al., 2015). Banyak cara untuk menentukan intensitas aktivitas fisik, misalnya dari persentase kecepatan maksimal, persentase kekuatan maksimal, persentase denyut jantung maksimal atau berdasarkan energi dominan yang dipakai selama aktivitas fisik. Banyak sedikitnya penggunaan oksigen tubuh erat kaitannya dengan pembentukan radikal bebas yang mengakibatkan kondisi otot jelek setelah aktivitas fisik.

Aktivitas fisik yang berlebihan (*overtraining syndrome*), dapat meningkatkan konsumsi oksigen 100–200 kali lipat dibandingkan kondisi istirahat. Peningkatan penggunaan oksigen terutama oleh otot–otot yang berkontraksi, menyebabkan terjadinya kebocoran elektron dari mitokondria yang akan menjadi ROS (Reactive Oxygen Species) Dalam keadaan tersebut 2-5% oksigen akan teroksidasi menjadi radikal bebas. Sehingga saat melakukan aktifitas fisik dengan intensitas berat, akan terjadi peningkatan jumlah radikal bebas. Pada kontraksi dengan intensitas yang tinggi akan terjadi *injury* otot akibat stres oksidatif sehingga timbul rasa nyeri. Kondisi kelelahan otot yang ditunjukkan dengan peningkatan kadar MDA. MDA yang dihasilkan kemudian dilepaskan ke darah (Kawamura & Muraoka, 2018).

MDA merupakan salah satu zat yang terbentuk dari proses oksidatif lemak dan dipakai sebagai indikator perubahan kondisi otot akibat dari perubahan dinding sel otot. Kondisi otot yang jelek akibat serangan radikal. Peningkatan radikal bebas dimulai setelah olahraga, Michailidis dkk. melaporkan penelitian tentang perubahan kadar penanda stres oksidatif setelah latihan aerobik, menunjukkan bahwa kadar TBARS (thiobarbituric acid reactive substance) akan meningkat ketika melakukan latihan fisik, mencapai puncaknya dalam 1 jam sesudahnya, dan penurunan drastis terjadi dalam 4 jam berikutnya (Michailidis et al., 2007). *Thiobarbituric acid reactive substance* (TBARS) merupakan metode pengukuran MDA yang banyak digunakan (Bouchez, 2015).

Kemudian produksi radikal bebas berupa MDA akan menyebabkan kerusakan oksidatif makromolekul, disfungsi kekebalan tubuh, kerusakan otot, dan kelelahan yang akan memicu proses pembentukan asam laktat dan kadar LDH (Vasudevan et al., 2016). Pada beberapa olahraga, peningkatan MDA akan diikuti peningkatan serum *creatin kinase* (CK) dan serum laktat dehidrogenase (LDH) (Bouchez, 2015).

Untuk menggambarkan kerusakan jaringan maupun organ, salah satunya otot rangka dapat dilakukan dengan melihat terjadinya peningkatan aktivitas LDH dalam darah yang melebihi batas normal. Pada jaringan yang rusak seperti terjadinya nekrosis maupun perubahan permeabilitas sel akan memicu pengeluaran enzim LDH. Dan juga kadar laktat yang tinggi dalam otot akibat dari hasil akhir glikolisis anaerobik yang dikatalisis oleh enzim LDH dapat mengakibatkan penurunan pH yang akan menghambat kerja enzim dan mengganggu reaksi kimia di dalam sel, sehingga dapat mengakibatkan kontraksi otot bertambah lemah, dan akhirnya otot mengalami kelelahan. Serta peningkatan enzim LDH di dalam sel otot mengindikasikan terjadinya iskemik dan hipoksia (Lieberman, Marks, Allan D., Peet, Alisa., 2013) (Goodwin et al., 2007).

Perubahan kadar MDA dan LDH dapat terkait oleh beberapa faktor yaitu: pada usia tua, radikal bebas bertanggung jawab terhadap kerusakan tingkat sel dan jaringan (Tyagita et al., 2021). Frekuensi latihan fisik bisa mengganggu fisiologis tubuh, sehingga tujuan dari latihan tidak tercapai dengan maksimal (Mastaloudis et al., 2001). Begitu juga dengan VO₂ max, latihan fisik teratur dapat meningkatkan VO₂ max sebesar 5-30% (Hawkins & Wiswell, 2003). IMT (obesitas) memiliki metabolisme lemak yang tinggi sehingga meningkatkan produksi radikal bebas di dalam jaringan lemak (A. R. Budi et al., 2017). Sedangkan merokok karena adanya konsumsi nikotin yang terus menerus sehingga menyebabkan rusaknya membrane lipid dan nikotin dapat meningkatkan produksi dopamine dalam otak sehingga dapat menyebabkan suatu kecanduan sehingga memproduksi radikal bebas (Nufus et al., 2020).

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kadar LDH pada aktivitas fisik aerobik dan anaerobik (Admin et al., 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Rumley dan Rafla (1983, cit Flora, 2015) menyebutkan bahwa aktivitas fisik dapat mengakibatkan peningkatan kadar LDH di dalam plasma. Peningkatan ini terjadi karena

adanya peningkatan permeabilitas membran sel otot akibat penurunan metabolisme energi, juga karena kerusakan sel-sel otot akibat aktivitas fisik yang dilakukan dalam waktu yang lama sehingga LDH yang berada di jaringan dikeluarkan ke sirkulasi. Dalam keadaan normal, kadar LDH rendah dalam plasma. Peningkatan LDH di dalam plasma merupakan indikasi dari suatu kerusakan otot (Flora, 2015). Penelitian (ROSE et al., 1980) membuktikan aktivitas LDH plasma meningkat segera setelah latihan/aktivitas fisik yang dilakukan.

Peneliti telah melakukan analisis terhadap beberapa jurnal penelitian dan diketahui bahwa pengaruh latihan fisik terhadap kadar LDH dan MDA baik menggunakan sampel pada manusia maupun mencit telah banyak dilakukan oleh penelitian sebelumnya. Namun, penelitian pengaruh jarak tempuh dan kecepatan rata-rata terhadap peningkatan kadar MDA dan LDH pada kondisi otot pesepeda masih sangat terbatas.

Oleh karena itu, peneliti tertarik melakukan penelitian lebih lanjut agar dasar mekanisme peningkatan MDA dan LDH dapat diketahui dengan jelas untuk digunakan sebagai proses pemantauan, bahan pertimbangan intervensi, dan durasi latihan yang efektif pada komunitas pesepeda ke depannya. Penentuan kriteria zona latihan yaitu FITT (*Frequency, Intensity, Time, Type*) sangat penting diketahui oleh komunitas pesepeda sehingga kita bisa mengetahui kelompok yang aman, berisiko, kategori latihan *low*, normal atau *overtraining*. Penelitian ini menggunakan instrumen STRAVA untuk mengukur kecepatan rata-rata kemudian dilakukan pengambilan sampel darah pre-post untuk dilakukan analisis kadar MDA dan LDH.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah “Bagaimana perubahan kadar Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH) pada kelompok usia, kecepatan, kategori latihan, Indeks Massa Tubuh, VO₂ max, dan perokok sebelum dan setelah event bersepeda 30 km pada komunitas sepeda Makassar?”

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kadar Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH) setelah event bersepeda 30 km pada komunitas sepeda Makassar.

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok usia sebelum dan setelah pesepeda mengikuti event.
- b. Untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok kecepatan sebelum dan setelah pesepeda mengikuti event.
- c. Untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok kategori latihan sebelum dan setelah pesepeda mengikuti event.
- d. Untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok Indeks Massa Tubuh sebelum dan setelah pesepeda mengikuti event.
- e. Untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok VO2 max sebelum dan setelah pesepeda mengikuti event.
- f. Untuk mengetahui perubahan kadar MDA dan LDH pada kelompok perokok sebelum dan setelah pesepeda mengikuti event.
- g. Untuk mengetahui korelasi perubahan kadar MDA dengan LDH sebelum dan setelah event bersepeda.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi akademik berupa informasi mengenai perubahan Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH) pada kelompok usia, kecepatan rata-rata, kategori latihan, Indeks Massa Tubuh, VO2 max, dan perokok.

2. Manfaat Aplikatif

Penelitian ini dapat dijadikan bahan kajian untuk pengembangan penelitian selanjutnya, sebagai bahan referensi, proses pemantauan, dan bahan pertimbangan intervensi, serta mengedukasi masyarakat

mengenai cara bersepeda yang aman dan efektif untuk kesehatan. Khususnya pada komunitas pesepeda sehingga mampu menentukan zona latihan bersepeda yang memberikan efek positif terhadap kadar Malondialdehid (MDA) dan Laktat Dehidrogenase (LDH).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Tentang Olahraga Bersepeda

1. Definisi

Bersepeda adalah kegiatan yang memanfaatkan energi aerobik. Bersepeda adalah cara yang bagus untuk meningkatkan kesehatan jantung, daya tahan otot, dan pernapasan. Hampir setiap hari terlihat orang-orang bersepeda, menandakan bahwa olahraga bersepeda saat ini cukup digemari oleh masyarakat umum. Sekitar pergantian abad ke-20, sepeda memulai debutnya di Eropa. Dari sana, mereka menyebar ke AS dan sekarang praktis ada di mana-mana di seluruh dunia. Bersepeda dianggap sebagai jenis olahraga murah yang memiliki banyak manfaat kesehatan (Arjuna, 2012).

Bersepeda adalah aktivitas universal yang dapat dilakukan setiap orang sebagai aktivitas fisik atau olahraga. Kegiatan yang melibatkan gerakan tubuh dianggap sebagai aktivitas fisik. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran yang sesuai untuk bersepeda yang memperhitungkan intensitas, durasi, frekuensi, dan interval latihan (Bompa Calcina, Orietta., 1994).

2. Epidemiologi

Olahraga paling populer di Amerika Serikat sejauh ini adalah bersepeda. Institut Sepeda Amerika memperkirakan ada lebih dari 50 juta pengendara reguler di seluruh dunia. Lebih dari 5 juta orang Amerika, menurut Asosiasi Manufaktur Alat Olah Raga, berolahraga lebih dari 100 hari per tahun. Anak-anak di bawah usia 16 tahun mencapai 44% dari populasi, sedangkan orang dewasa mencapai 54%. (Carmichael & Burke, 2003).

Bersepeda telah lama dianggap sebagai salah satu latihan aerobik terbaik di antara para ahli. Hampir setiap orang dapat bersepeda untuk kebugaran, tanpa memandang usia, dan siapa pun yang sehat dapat belajar bersepeda dengan baik melalui latihan. Pengendara sepeda profesional dan penghobi akhir pekan yang sering mengendarai sepeda memiliki dua kesamaan: mereka menikmati apa yang mereka lakukan dan berolahraga dengan baik sambil juga membakar kalori. Variasi pengendara sepeda merupakan sumber kebanggaan yang lebih besar. Mereka dari segala usia, berlatih, berpartisipasi dalam kompetisi, atau hanya sekedar mengisi waktu

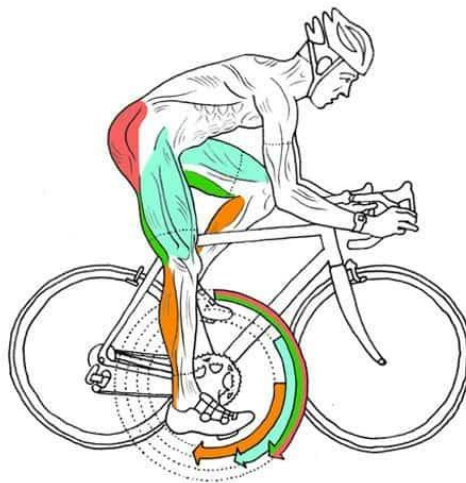
(Table & Test, 2003).

Beberapa orang menjadikan bersepeda sebagai cara hidup sehat. Mereka berkumpul dalam kelompok kecil untuk membentuk komunitas bersepeda, yang didirikan untuk mempromosikan bersepeda sebagai hobi (Oja et al., 2011). Bersepeda dapat memunculkan peluang baru untuk kebahagiaan, olahraga, dan kesenangan sambil menghilangkan ketegangan dari tugas sehari-hari (Carmichael & Burke, 2003).

3. Otot yang Bekerja Saat Bersepeda

Bersepeda mungkin tampak seperti olahraga sederhana pada pandangan pertama. Bersepeda, bagaimanapun, adalah aktivitas berbasis keterampilan dalam kenyataannya. Dalam aktivitas fisik ini, keseimbangan adalah kemampuan utama yang dibutuhkan. Namun, jantung dan paru-paru akan terpengaruh oleh pelatihan sepeda. Otot tangan, lengan, perut, punggung, tungkai bawah, dan pergelangan kaki merupakan komponen tubuh tambahan yang dapat diperkuat dengan bersepeda (Khalis, 2011).

Mayoritas pesepeda dapat merasakan peningkatan kekuatan dan kecepatan bersepeda akibat perubahan komposisi tubuh, Otak mengirimkan informasi ke lapisan otot, yang terdiri dari banyak serat dan saraf, memberi tahu cara bergerak. Darah harus membawa nutrisi dan oksigen ke otot yang sedang bekerja keras. Karena lebih banyak darah yang dipompa, otot yang bergerak atau berkontraksi akan semakin keras dan membesar (Khalis, Ibnu. 2011).



Gambar 2.1 Otot yang Bekerja Saat Bersepeda (Khalis, 2011)



Gambar 2. 2 Power Zone dan Recovery Zone pada saat mengayuh pedal (Khalis, 2011)

Otot pada pedal yang digerakkan oleh kaki memiliki berbagai bentuk, ukuran, dan tujuan. Otot yang digunakan pada setiap posisi putaran pedal juga berbeda-beda. Saat pedal ditekan (zona power), dihasilkan tenaga paling besar, dan saat kaki dinaikkan, tenaga dihasilkan paling sedikit. (zona recovery) (Khalis, 2011).

Berikut ini adalah aktivitas otot selama bersepeda:

- a. Otot Gluteus. Otot ini berkontribusi sampai sekitar 25% dari kekuatan mengayuh pedal sepeda. Otot ini bekerja lebih keras pada arah jam 12 sampai jam 3 putaran pedal. Gluteus maximus adalah yang paling dominan terpakai.
- b. Otot Quadriceps, rectus femoris, vastus medialis, dan vastus lateralis, serta hamstring. Otot ini penting selama fase power stroke (Joerger, 2016).
- c. Otot Quadriceps. Otot Quadriceps berpengaruh sampai hampir 40% dari total kekuatan pedal, karena otot ini berkerja maksimum ketika pedal sudah mulai turun, dari arah jam 2 sampai jam 5. Otot Quadriceps ini yang mendominasi pada zona power.
- d. Otot Hamstring. Penggunaan otot ini juga hampir mirip dengan otot gluteus, yaitu mulai dari tahap mendorong sampai menekan pedal.
- e. Otot betis terdiri dari gastrocnemius yang posisinya dibelakang lutut, dan otot soleus yang ada di bawahnya. Selain sebagai otot penggerak pedal, otot betis juga berfungsi sebagai stabilizer.
- f. Otot ekstensor pinggul dan otot fleksor lutut. Beban besar bekerja pada tulang belakang pengendara sebagian besar terjadi saat duduk dalam posisi olahraga dibandingkan dengan posisi rekreasi atau setengah duduk. Beban aktif daerah tulang lumbar belakang dipengaruhi oleh tekanan ban, gundukan jalan dan kecepatan roda.
- g. Otot tulang belakang mengalami beban terbesar dalam posisi duduk. (Rubiono et al., 2019)

- h. Besarnya aktivitas otot tungkai bawah. M. vastus medialis et lateralis lebih teraktivasi selama bersepeda. Penggunaan posisi kaki posterior daripada anterior menurunkan momen beban dorsofleksi pergelangan kaki, meningkatkan aktivitas gluteus medius dan rectus femoris, dan menurunkan aktivitas otot soleus.
- i. Otot Cervical dan otot trapezius. Otot-otot ini sering menjadi kelelahan selama bersepeda karena menahan berat kepala dalam posisi ekstensi untuk waktu yang lama.
- j. Otot lengan (biceps dan trisep). Kinerja otot biceps dan trisep sangat tergantung dari cara dan gaya bersepeda. Otot ini banyak dipakai untuk menopang tubuh pada *handlebars* (stang) sepeda. Semakin tegak gaya bersepeda membuat otot lengan yang lebih rileks.

4. Kategori Pesepeda

Ada banyak jenis sepeda yang berkembang dari waktu ke waktu, termasuk 1) sepeda gunung (juga dikenal sebagai "sepeda gunung"), 2) sepeda jalan raya (juga dikenal sebagai "cyclocross"), 3) sepeda BMX (juga dikenal sebagai "sepeda motorcross"), 4) sepeda balap, 5) sepeda lipat, 6) sepeda angkut, dan 7) sepeda mini, yang semuanya memiliki tujuan utama yang sama yaitu membawa orang dari satu tempat ke tempat lain melalui alat transportasi (Trotsek, 2017).

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) membagi pesepeda menjadi tiga kelompok dalam bukunya *The 2018 AASHTO Bike Guide: An Overview* (Laksmana et al., 2020). Bersepeda di ruang yang sesuai untuk kategori. Meski tidak lagi dianggap anak-anak dari segi usia, beberapa pesepeda diklasifikasikan sebagai "Minat tapi peduli" atau "Memiliki minat dan perhatian" di bawah kategori C (Anak-anak). Penggemar bersepeda yang termasuk dalam kategori B (Dasar) adalah "agak percaya diri", sedangkan mereka yang termasuk dalam kategori A (Lanjutan) adalah "Berpengalaman dan percaya diri".

B. Tinjauan Tentang Usia, Kecepatan Rata-Rata, Kategori Latihan, Indeks Massa Tubuh, VO2 Max, dan Merokok

1. Usia

Usia dewasa awal didefinisikan antara usia 18 - 40 tahun, dewasa tengah antara usia 41 - 60 tahun, dan dewasa lanjut usia di atas 60 tahun. Kementerian Kesehatan RI (2009) membagi lansia menjadi tiga kelompok usia berdasarkan tentang batasan usia: lansia awal (usia 46 hingga 55), lansia akhir (usia 56

hingga 65), dan lansia (usia 65 ke atas) (Ramadhan, 2014). Bersepeda dapat dilakukan pada tingkat sedang, antara 40 – 60 persen dari volume O₂ maksimum, 2-3 kali per minggu oleh manula (Hadi, 2020).

Bersepeda merupakan salah satu bentuk senam aerobik yang bermanfaat bagi orang dewasa maupun lansia, menurut Agus Pribadi (2015). Ini dapat membantu mencegah obesitas, menurunkan tingkat stres dan kecemasan, menyehatkan jantung dan paru-paru, dan banyak hal lainnya. Kriteria FITT yang meliputi frekuensi, intensitas, waktu, dan jenis harus dipenuhi oleh aktivitas aerobik untuk orang dewasa dan lansia seperti bersepeda. Tiga kali seminggu, 60 hingga 70% dari detak jantung maksimum seseorang, 20 hingga 30 menit per latihan, dan rejimen kebugaran yang menyenangkan dan sederhana.

2. Kecepatan Rata-Rata

Kecepatan rata-rata, diukur dalam satuan umum seperti m/s atau km/jam, adalah jarak rata-rata yang ditempuh per satuan waktu. Sementara roda berputar pada 70 putaran per menit (rpm), kecepatan optimal untuk kesehatan adalah 27 km/jam (Lißner et al., 2020).

Kecepatan yang disarankan untuk pengendara sepeda motor berusia 40 tahun ke atas adalah 22–27 km/jam. Disarankan untuk hanya melakukannya paling banyak tiga kali per minggu, dengan kecepatan yang meningkat seiring bertambahnya usia. Ketahanan fisik atau daya tahan yang baik merupakan kunci dari bersepeda jarak jauh (Lißner et al., 2020).

Jenis sepeda yang digunakan, medan yang ditempuh, jumlah lalu lintas, dan kondisi fisik hanyalah beberapa variabel yang mempengaruhi kecepatan bersepeda rata-rata. Bersepeda pemula bisa dimulai dengan waktu singkat dan jarak pendek. Para pemula bersepeda perlu mengetahui pendekatan FIT, yang merupakan singkatan dari frequency, intensity and time.

Pesepeda wanita cenderung memiliki kecepatan dan akselerasi yang lebih rendah dibandingkan pesepeda pria. Walaupun wanita bersepeda sesering rekan pria tetapi untuk wanita dan didapatkan hasil kecepatan yang lebih rendah ($f = 5,5$; $m = 6,2$ m/s). Selain itu, usia juga sangat mempengaruhi kecepatan saat bersepeda. Variabel kelompok jenis kelamin dan usia memiliki pengaruh yang sama kuatnya dengan tujuan perjalanan. Selain itu, Faktor yang mempengaruhi terkait dengan usia, seperti pengalaman bersepeda dan fase kehidupan. Kelompok usia 16–29 tahun paling menonjol dari semua kelompok

usia lain dalam hal akselerasi. Tidak berlaku untuk kelompok usia di atas 45 tahun, yang tidak menunjukkan perbedaan signifikan dalam perilaku akselerasi tetapi menunjukkan gaya mengemudi yang lebih mantap dengan akselerasi yang kurang kuat, secara keseluruhan. Kelompok usia 30-44 dan 45-54 dan 55-65 tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam varians bersepeda (Lißner et al., 2020)

3. Kategori Latihan

Pelatihan untuk daya tahan meningkatkan kapasitas seorang atlet untuk latihan aerobik. Mengenai peningkatan ini, sejumlah variabel berperan. Peningkatan kapasitas jantung dan paru-paru, hipotrofi otot tipe 1, dan peningkatan jumlah dan ukuran mitokondria adalah tanda-tanda daya tahan otot. Pada 65% VO₂ Max, aktivitas oksidatif enzim pada individu terlatih menunjukkan daya tahan 100% lebih tinggi daripada individu yang tidak terlatih. Peningkatan penggunaan lemak sebagai sumber energi selama aktivitas submaksimal merupakan hasil dari latihan ketahanan. Oksidasi lemak pada otot mencegah glikolisis dan penyerapan glukosa. Karena oksidasi asam lemak selama kompetisi menghasilkan lebih sedikit penipisan glikogen otot dan glukosa plasma, atlet terlatih mendapatkan keuntungan dari penghematan karbohidrat (Gropper et al. 2009).

4. Indeks Massa Tubuh (IMT)

Body Mass Index (BMI) merupakan alat atau cara mudah untuk mengetahui kondisi gizi orang dewasa, khususnya yang berkaitan dengan *underweight* dan *overweight* (Supriasa, 2013). Indeks Massa Tubuh (kg/m²) dihitung dengan membagi berat badan seseorang dalam kilogram dengan tinggi badannya dalam meter. Formula ini hanya dapat digunakan oleh mereka yang berusia antara 18 dan 70 tahun yang memiliki struktur tulang belakang normal, bukan atlet atau binaragawan, dan bukan ibu hamil atau menyusui. Ketika pengukuran ketebalan lipatan kulit tidak memungkinkan atau tidak ada standar yang relevan, pengukuran BMI dapat digunakan (Arisman, 2011).

Aktivitas fisik dan Indeks Massa Tubuh (BMI) berkorelasi terbalik; saat aktivitas fisik meningkat, pembacaan Indeks Massa Tubuh (BMI) akan menjadi lebih normal, dan saat aktivitas fisik menurun, Indeks Massa Tubuh (BMI) akan meningkat. Gerak tubuh akibat kontraksi otot yang mengakibatkan konsumsi energi disebut sebagai aktivitas fisik (Ramadhani, 2013).

5. Volume Oksigen Maximal (VO2 Max)

Volume oksigen maksimal (VO2 maks) adalah ambilan oksigen maksimal yang dapat digunakan oleh tubuh seseorang per menit selama latihan atau latihan fisik. Nilai VO2 maks merupakan ukuran seberapa bugar (fit) seseorang yang dinyatakan dengan volume oksigen yang dikonsumsi tubuh per menit dengan satuan ml/kg/menit). Jumlah oksigen yang dikonsumsi berbanding lurus dengan intensitas latihan. VO2 maks ini ditentukan oleh faktor genetik, umur, jenis kelamin, dan ketinggian tempat. VO2 maks menurun dengan menurunnya usia dan apabila tidak melakukan aktifitas fisik, dan 40% variasi VO2 maks ditentukan oleh faktor genetik (Wain et al., 2015).

6. Merokok

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan bahwa Indonesia memiliki 60.270.600 perokok, menempati urutan ketiga di dunia. Dari tahun 1995 hingga 2011, jumlah pria yang merokok naik 14%, sedangkan jumlah wanita yang merokok naik 2,8%. Jumlah perokok laki-laki melebihi jumlah perokok perempuan dengan selisih yang cukup besar yaitu, 98% (WHO, 2015).

Tar, nikotin, dan karbon monoksida adalah sebagian dari hampir 4000 senyawa berbahaya yang ditemukan dalam asap rokok. Radikal bebas, yang merupakan ketiga bahan kimia ini, sangat buruk bagi tubuh manusia. Anda menghirup 4.000 senyawa berbahaya ini setiap kali Anda merokok, baik disengaja maupun tidak. Sekitar 43 senyawa yang diketahui menyebabkan kanker terdapat dalam tar. Sebagai obat penenang, nikotin bekerja pada tubuh dengan cara yang sama seperti heroin, amfetamin, dan kokain, tetapi jika tubuh mengembangkan kecanduan atau kecenderungan nikotin, itu akan menyebabkan serangan jantung. Fungsi pernafasan dan sirkulasi pembuluh darah dalam proses respirasi sel keduanya sangat berbahaya bila terkena bahan kimia mematikan yang dikenal sebagai karbon monoksida, yang biasanya dikeluarkan oleh knalpot mobil (Reilly et al., 2019).

C. Tinjauan Tentang Strava

Strava adalah sebuah aplikasi layanan internet untuk melacak dan mencatat kegiatan olahraga (bersepeda dan berlari) dengan menggunakan data GPS dari telepon genggam maupun gawai lainnya. Sejak 2009, Strava telah mengumpulkan jutaan data dari pelari dan pesepeda di seluruh dunia. Sekitar 50 juta orang telah mendaftar dan 30 miliar acara olahraga telah diunggah ke Strava (Rupaka et al., 2021)

Kata kerja "berjuang" dalam Strava menyiratkan berjuang. Bahasa Swedia, bahasa yang menjadi dasar Strava, saat ini sedang mengalami masa-masa sulit untuk berkontribusi dalam pengembangan komunitas atlet paling aktif di dunia. Selain menginspirasi para atlet dan menjadikan olahraga lebih menyenangkan, Strava melakukan penelitian dan pengembangan. Namun, tujuan utama kami adalah menjadikan Strava sebagai tim inklusif yang berkomitmen untuk mengangkat anggotanya dan komunitas secara keseluruhan (Sun et al., 2017).

Olahraga kini lebih dari sekadar berkeringat berkat aplikasi Strava untuk bersepeda, berlari, berenang, jalan kaki, hiking, dan olahraga lainnya. Ini juga mencakup pelacakan kemajuan, pola pelatihan, kompetisi, permainan, dan media sosial. Olahraga dibawa ke level baru dengan kemudahan penggunaan Strava, kekayaan fitur, jejaring sosial tanpa batasan waktu atau ruang, kompatibilitas dengan peralatan olahraga, dan dukungan yang terus berkembang. Dari pesepeda atau pelari pemula hingga atlet profesional membentuk komunitas yang saling menginspirasi, terlibat dalam kompetisi persahabatan, meninjau kinerja, dan bekerja untuk mencapai tujuan anggotanya (Sun et al., 2017).

Pengguna aplikasi Strava dapat merekam dan melihat trek mereka dan memplotnya di peta bersama dengan data lain dari aktivitas olahraga mereka seperti berlari, berjalan, kano/berperahu, sepeda listrik, hiking, dan olahraga seluler lainnya. Anda juga dapat menyertakan gambar dan materi lainnya, dan informasi ini akan disimpan sebagai catatan pribadi yang dapat anda bagikan (Musakwa & Selala, 2016)

Integrasi Strava dengan gadget, ponsel, dan perangkat lain, termasuk GPS, jam tangan pintar, monitor detak jantung, pengukur daya, dan lainnya, adalah salah satu kekuatannya. sehingga kami dapat melacak dan memeriksa berbagai jenis angka dan nilai yang kami hasilkan atau keluarkan saat berolahraga. Anda dapat mengikuti program pelatihan dari Strava, atau statistik ini akan sangat membantu untuk melihat tujuan atau target yang telah kita tetapkan (Musakwa & Selala, 2016)

Menurut (Musakwa & Selala, 2016): tiga aspek kunci yang diidentifikasi atlet dengan Strava adalah:

1. Track and Analyze, atau Strava, mengubah ponsel cerdas Android dan iPhone menjadi komputer bersepeda dan berjalan kelas atas. Monitor detak jantung, sinkronisasi GPS, dan alat lain dari Strava dapat digunakan untuk mengukur performa olahraga secara langsung. Aplikasi dan perangkat yang digunakan akan secara otomatis menyinkronkan aktivitas yang dilakukan.

2. Setiap pengguna Strava yang secara otomatis menyimpan aktivitas mereka sehingga dapat dibagikan dengan pengguna lain dikatakan "Share and Connect", begitulah. Biasanya, latihan yang berbeda diposting, dan pengguna dapat mengomentari latihan tersebut.
3. Features of Competition and Exploration. Selain berbagi hasil olah raga, Strava berharap bisa berbagi cerita melalui foto dan kegiatan. Inilah yang membuat Strava spesial. Melalui formulir unggahan yang juga memberikan gambaran kegiatan. Melalui Klubnya, Strava juga berperan penting dalam mendukung komunitas lokal.

D. Tinjauan Tentang Radikal Bebas

1. Definisi

Stres oksidatif yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara sistem pertahanan antioksidan tubuh dan pembentukan radikal bebas dapat disebabkan oleh aktivitas fisik intensitas tinggi (Harahap, 2008). Individu tipikal saat ini terlibat dalam semua perilaku sehari-hari yang salah yang secara tidak sengaja membahayakan tubuh mereka sendiri. termasuk cedera stres fisik pada tubuh, biasanya disebabkan oleh aktivitas fisik yang berlebihan.

Ketidakseimbangan antara jumlah antioksidan dan radikal bebas dikenal sebagai stres oksidatif. Patofisiologi penyakit kardiovaskular, penyakit paru-paru, penyakit autoimun, kanker, gangguan metabolisme, dan penuaan semuanya didasarkan pada stres oksidatif, yang dapat merusak sel. Kumpulan atom atau ion molekul yang dikenal sebagai radikal bebas memiliki satu elektron tidak berpasangan. Stres oksidatif akan terjadi jika produksi antioksidan lebih sedikit dibandingkan dengan produksi radikal bebas. Hal ini akan menyerang asam lemak tak jenuh ganda (PUFAs) dan menghasilkan malondialdehid (MDA) yang merusak protein dan DNA (Deoxyribonucleic Acid) (Droge, 2002).

Spesies oksigen reaktif diproduksi sebagai akibat dari peningkatan kebocoran elektron mitokondria yang disebabkan oleh peningkatan penggunaan oksigen, terutama oleh otot yang berkontraksi (ROS). Radikal bebas biasanya terbentuk dari 2-5% oksigen yang dikonsumsi dalam proses metabolisme (ion superoksida). Konsekuensinya, peningkatan aktivitas fisik akan meningkatkan kadar radikal bebas dalam tubuh (Bessa et al., 2016).

Satu atau lebih elektron tidak berpasangan ditemukan di orbit luar

molekul yang relatif tidak stabil, yang dikenal sebagai radikal bebas. Molekul bereaksi dengan mencari sepasang elektron. Jika sudah berkembang di dalam tubuh, serangkaian peristiwa akan mengakibatkan terciptanya radikal bebas tambahan, yang jumlahnya kemudian akan terus meningkat. Sel-sel tubuh secara terus-menerus mengubah oksigen yang kita hirup menjadi bahan kimia yang sangat reaktif yang dikenal sebagai senyawa oksigen reaktif (ROC), yang merupakan jenis radikal bebas yang disebut spesies oksigen reaktif (ROS). Ini terjadi baik ketika mitokondria memproduksi energi atau ketika enzim sitokrom P-450 hati terlibat dalam proses detoksifikasi. Hasil logis dari kehidupan aerobik adalah generasi fisiologis ROS ini. Polutan lingkungan tertentu (seperti asbestos, asap rokok, emisi kendaraan bermotor dan industri), radiasi pengion, infeksi bakteri, jamur, dan virus, serta paparan zat kimia (termasuk obat-obatan) yang mengoksidasi adalah ROS eksogen, sementara yang lain datang dari proses fisiologis ini (ROS endogen) (Droge, 2002).

Sejak penemuan radikal bebas organik pertama, trifenilmetil, oleh ilmuwan Rusia Moses Gomberg di University of Michigan pada tahun 1900, penyelidikan lain telah menunjukkan peran molekul radikal bebas dalam berbagai kerusakan sel, termasuk sel otot. Kondisi medis patologis termasuk penyakit degeneratif seperti kanker, penyakit jantung, radang sendi, katarak, dan penyakit hati juga disebabkan oleh molekul radikal bebas. Sejumlah penelitian telah menunjukkan seberapa efisien molekul antioksidan dalam menangkal efek berbahaya tersebut (Kiyatno, 2009).

Spesies oksigen reaktif (ROS) dan spesies nitrogen reaktif (RNS) adalah dua jenis radikal bebas yang ada di dalam tubuh (ROS). O₂, radikal hidroksil (OH), asam hipoklorit (HOCL), radikal alkoksil, dan radikal peroksil adalah beberapa jenis ROS yang bisa ada. Peroksidasi lipid, urutan proses kimia, adalah salah satu metode dimana ROS dapat merusak sel dengan menghancurkan membran lipidnya. Hal ini disebabkan tingginya konsentrasi asam lemak tak jenuh ganda dalam membran sel (PUFA). Sel akan mengalami perubahan akibat peroksidasi membran lipid, termasuk peningkatan permeabilitas membran, penurunan transpor kalsium dalam retikulum sarkoplasma, aktivitas enzim dan mitokondria yang terganggu, dan produksi metabolit berbahaya (Lieberman, Marks, Allan D., Peet, Alisa., 2013).

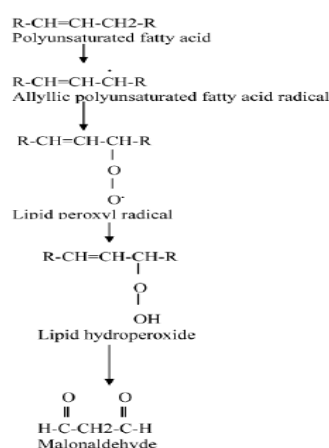
Faktanya, ROS dan radikal bebas lainnya memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan yang baik dan fungsi tubuh yang teratur dengan mencegah peradangan, menghilangkan infeksi, dan mengatur tonus otot polos

pembuluh darah dan organ tubuh kita. Namun, itu akan merusak sel itu sendiri jika diproduksi melebihi kapasitas pertahanan antioksidan seluler. Akibat struktur dan fungsi sel yang berubah, penyakit akan mulai menyebar (Harman, 2006).

Kontraksi otot dan pertumbuhan jaringan iskemik-reperfusi selama dan setelah latihan dapat menghasilkan radikal bebas. Produksi radikal bebas akan melebihi kemampuan sistem pertahanan antioksidan ketika secara signifikan melebihi 5% sebagai akibat dari aktivitas yang ketat dan melelahkan. Radikal bebas ini dapat merusak sel otot dan tulang yang berfungsi dengan menyerang asam lemak tak jenuh ganda di membran sel. Indikasi yang paling jelas dari aktivitas radikal bebas adalah kelelahan dan nyeri pada otot aktif, yang sering menyertai aktivitas fisik yang menuntut dan melelahkan (Chevion et al., 2003).

2. Mekanisme Pembentukan Radikal Bebas

Olahraga akan meningkatkan metabolisme aerobik, yang pasti akan menghasilkan peningkatan pembentukan radikal bebas. Pada proses metabolisme oksidatif mitokondria, 4-5% oksigen tidak mampu secara sempurna menghasilkan H₂O dan malah akan membuat radikal bebas. Peroksidasi lipid (LPO), yang mengubah kondisi otot atau merusak sel otot, terjadi ketika radikal bebas menyerang membran sel. Produksi radikal bebas dalam sel otot, terutama sel otot rangka, akan selalu meningkat sebagai respon terhadap peningkatan asupan oksigen selama berolahraga (Sinaga, 2016).



Gambar 2.3 Tahap peroksidasi lipid (Sinaga, 2016)

Olahraga akan meningkatkan pembentukan radikal bebas melalui:

- a. Asupan oksigen meningkat.
- b. Peningkatan metabolisme epinefrin dan katekolamin.

- c. Peningkatan aktivitas makrofag dan leukosit yang diinduksi oleh olahraga.
- d. Lebih banyak asam laktat, yang dapat menghasilkan radikal bebas

Mekanisme pembentukan radikal bebas yang terjadi saat aktivitas aerobik adalah :

- a. Kerusakan mitokondria akibat hiperoksia. Latihan aerobik intensitas tinggi dapat menyebabkan kerusakan hiperoksik. Manusia pada umumnya membutuhkan 0,3 L/menit oksigen saat istirahat. Kebutuhan oksigen meningkat selama latihan fisik 10 sampai 20 kali lipat dibandingkan dengan istirahat (Bride et al., 1999). Akibatnya, otot yang bekerja menerima oksigen 100 hingga 200 kali lebih banyak daripada saat istirahat. 2-5% oksigen dalam kondisi istirahat akan diubah menjadi radikal bebas. Sehingga akan terjadi peningkatan radikal bebas saat melakukan aktivitas fisik dengan intensitas tinggi. Mitokondria ini, yang merupakan organel yang bertanggung jawab untuk respirasi seluler dan tempat terjadinya transpor elektron, adalah tempat terbentuknya radikal bebas ini (Bride et al., 1999).
- b. Kerusakan iskemia-reperfusi terkait xantin oksidase Karena kadar oksigen yang lebih tinggi pada otot yang bekerja, latihan fisik menyebabkan hipoksia dan iskemia pada sejumlah organ, termasuk jantung, hati, ginjal, dan organ lainnya. Karena kebutuhan energi selama hipoksia dan iskemia, ATP diubah menjadi ADP (Adenosine Diphosphate) dan AMP (Adenosine Monophosphate). Jika tidak tersedia cukup oksigen, AMP akan berubah menjadi hipoksantin. Aliran darah akan kembali normal melalui proses reperfusi saat aktivitas fisik selesai. Adanya enzim xantin oksidase selama proses reperfusi menyebabkan hipoksantin diubah menjadi xantin dan asam urat. Radikal bebas yang dihasilkan oleh proses ini bereaksi dengan peroksida lipid untuk merusak membran sel (Bride et al., 1999).
- c. Jika dibandingkan dengan istirahat, latihan aerobik intensitas tinggi dapat meningkatkan aktivitas xantin oksidase hingga sepuluh kali lipat. Sel endotel pada otot yang berkontraksi dianggap sebagai sumber peningkatan xantin oksidase ini (Bride et al., 1999).

E. Tinjauan Tentang Malondialdehid (MDA)

1. Definisi

Malondialdehid (MDA) adalah senyawa aldehid yang terbentuk oleh

peroksidasi lipid dalam tubuh dan digunakan sebagai indikator adanya reaksi oksidasi. Peroksidasi lipid dihasilkan oleh asam lemak ganda tak jenuh (PUFA) dan stress oksidasi pada membran plasma yang menyebabkan hilangnya integritas membran yang diproduksi dalam kondisi stress. Peningkatan kadar MDA dapat menjadi indikator dari beberapa penyakit degeneratif, seperti penuaan, kanker, diabetes mellitus, dan penyakit jantung koroner. Senyawa MDA dihasilkan melalui proses enzimatis dan non enzimatis, proses enzimatis MDA dihasilkan melalui sintesis tromboksan A2. Sedangkan pada proses non enzimatis MDA dapat dihasilkan melalui peroksidasi lipid (Ayala et al., 2014).

Beberapa teknik, termasuk uji Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (HPLC) dan uji Zat Reaktif Asam Thiobarbituric (TBARS), dapat digunakan untuk mengukur malondialdehid. Konsentrasi MDA dapat diperiksa dalam plasma, jaringan, dan urin. Pendekatan HPLC lebih mahal daripada metode TBARS tetapi memiliki tingkat sensitivitas dan spesifisitas yang lebih tinggi untuk mengukur kadar MDA. Teknik yang paling banyak digunakan disebut tes Thiobarbituric Acid Reactive Substance (TBARS), yang mencari 2-thiobarbituric, yang berinteraksi dengan MDA ketika dipanaskan hingga kira-kira 95% dari titik didihnya dalam lingkungan asam. Panjang gelombang 532–535 nm akan digunakan untuk spektrofotometri untuk mendeteksi TBA-MDA (Spirlandeli et al., 2014).

Karena malondialdehid adalah produk sampingan peroksidasi lipid yang paling karsinogenik, sering digunakan sebagai penanda stres oksidatif. Malondialdehyde adalah ukuran yang paling banyak digunakan dan akurat untuk menilai keberadaan stres oksidatif karena ketersediaan dan sensitivitas metode dalam mengukur peroksidasi lipid (Ayala et al., 2014)

Kadar MDA plasma dapat digunakan sebagai penanda biologis untuk menentukan tingkat stres oksidatif yang dihasilkan dari latihan fisik singkat, dengan peningkatan kadar MDA plasma yang lebih besar menunjukkan tingkat stres oksidatif yang lebih tinggi, menurut penelitian Harjanto dari tahun 2004. Kadar MDA dalam darah (serum) dapat digunakan sebagai indikator tidak langsung peningkatan ROS karena MDA yang dihasilkan selanjutnya dibuang ke dalam darah. Fakta ini menunjukkan konsekuensi negatif pada kesehatan yang dapat dihasilkan dari olahraga berat.

Dampak aktivitas fisik yang intens terhadap tingkat stres oksidatif, khususnya MDA, telah dipelajari oleh sejumlah peneliti sebelumnya dengan hasil yang beragam. Selama 30 tahun, 300 investigasi identik pada respons

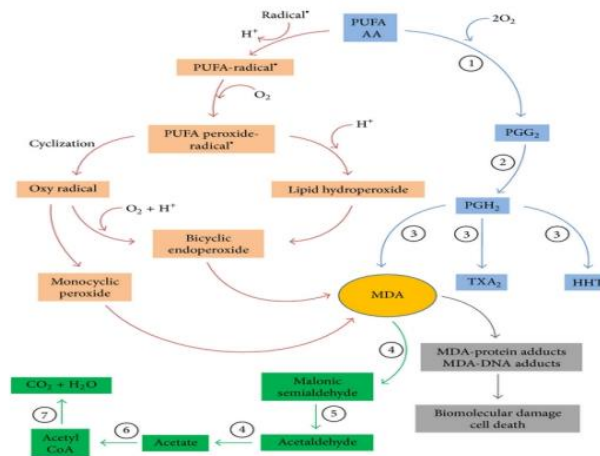
akut latihan fisik terhadap stres oksidatif dilakukan, dengan hasil yang berbeda tergantung pada teknik pengukuran dan variabel lainnya. Hasil ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti usia, status pelatihan, makanan, dan pola aktivitas fisik. Teknik pengukuran yang dibahas berbeda dalam cara mengukur tingkat stres oksidatif, serta biomarker stres oksidatif yang digunakan, jenis sampel yang digunakan, dan waktu pengambilan sampel yang digunakan (Fisher-Wellman & Bloomer, 2009).

Usia, aktivitas enzim (superoksida dismutase, katalase, dan glutathione peroksidase), asupan antioksidan (vitamin C, E, -eta-karoten, dll.), penyakit, dan lingkungan semuanya dapat berdampak pada kadar MDA (polusi dan radiasi) (Talarowska et al., 2012).

2. Pembentukan dan Metabolisme MDA

MDA dapat dibuat di dalam tubuh baik secara enzimatis maupun non-enzimatis. Asam arakidonat dan PUFA digunakan dalam proses biosintesis tromboksan A₂ dan 12-hidroksi-5,8,10-heptadecatrienoic acid (HHT), yang menghasilkan pembentukan enzimatis MDA *in vivo*. MDA kemudian diproduksi sebagai produk sampingan (Ayala et al., 2014).

Penelitian awal oleh sejumlah peneliti mengusulkan bahwa oksidasi oleh aldehida dehidrogenase mitokondria diikuti oleh dekarboksilasi untuk menghasilkan asetaldehida, yang dioksidasi oleh aldehida dehidrogenase menjadi asetat dan selanjutnya menjadi CO₂ dan H₂O, mungkin merupakan jalur metabolisme yang layak untuk metabolisme MDA. Pada studi lain disebutkan bahwa metabolisme MDA secara biologi berperan dalam berbagai reaksi pada intermolekul ikatan protein/DNA pada berbagai penyakit metabolik. Selain itu MDA juga berpengaruh pada struktur protein kinase C yang berperan dalam sel sebagai transduksi sinyal intraseluler pada proses proliferasi, diferensiasi, migrasi dan peradangan (Ayala et al., 2014).



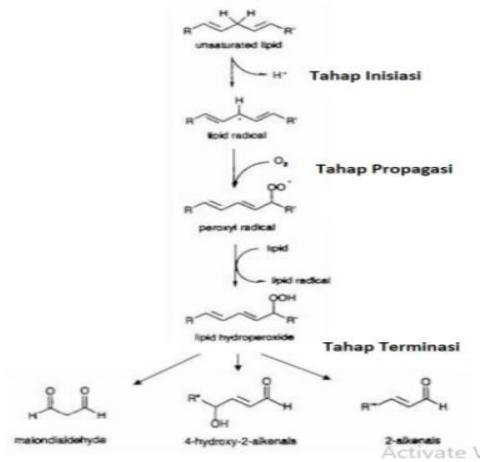
Gambar 2.4 menunjukkan bagaimana MDA dibentuk dan dimetabolisme. Asam arakidonat (AA) dipecah dalam tubuh untuk menghasilkan MDA, yang juga diproduksi dalam jumlah besar sebagai produk sampingan dari aktivitas enzimatik yang digunakan untuk membuat tromboxan A2 (TXA2) dan 12-l-hidroksi-5,8,10-heptadecatrienoic asam (HHT) (jalur biru). Mungkin juga mengalami prosedur non-enzimatik melalui penggunaan endoperoksida yang dihasilkan selama peroksidasi lipid (garis merah). MDA yang dihasilkan dapat diproses oleh enzim (jalur hijau) (Ayala et al., 2014).

Proses peroksidasi lipid yang disebabkan oleh aktivitas radikal bebas dalam ikatan lemak tak jenuh pada membran sel menghasilkan produksi MDA non-enzimatik. Proses inisiasi, di mana radikal bebas (R^*) tercipta ketika lipid terpapar panas, cahaya, ion logam, dan oksigen, merupakan tahap awal. Gugus metilen di sebelah ikatan rangkap $-C=C$ mengalami reaksi ini (Talarowska et al., 2012).

Tahap propagasi mengikuti tahap inisiasi dan di mana auto-oksidasi terjadi ketika oksigen dan lipid dari tahap inisiasi bergabung untuk menghasilkan radikal peroksida (ROO^*). Untuk membuat hidroperoksida ($ROOH$) dan molekul radikal lipid baru ($R1^*$), radikal peroksida yang dihasilkan akan mengambil ion hidrogen dari lipid lain ($R1H$). Selain itu, karena reaksi autooksidasi ini akan terus berlangsung maka akan terjadi reaksi berantai (Ayala et al., 2014).

Tahap terminasi adalah fase terakhir dari oksidasi lipid, di mana hidroperoksida yang sangat stabil terurai menjadi molekul organik rantai pendek seperti aldehida, keton, alkohol, dan asam. Salah satu produk sampingan dari peroksidasi lipid ini adalah MDA, yang berbahaya bagi membran sel dan dapat berikatan dengan protein dalam sel, jaringan, dan DNA untuk menghasilkan zat tambahan yang menyebabkan kerusakan biomolekuler yang dapat

menyebabkan penuaan, kanker, dan gangguan degeneratif lainnya (Ayala et al., 2014).



Gambar 2.5 Pembentukan dan Metabolisme MDA (Ayala et al., 2014)

3. Kondisi Otot akibat Radikal Bebas (MDA)

Membran sel sangat dirugikan oleh radikal bebas, membahayakan kelangsungan hidup sel. MDA sering digunakan sebagai penanda kerusakan sel akibat serangan radikal bebas pada peroksidasi lipid akibat hal tersebut. Pendekatan yang paling sering digunakan untuk pemeriksaan MDA adalah berbasis reaksi; satu molekul MDA akan menghasilkan TBARS (zat reaktif asam thiobarbituric) bila dikombinasikan dengan dua molekul TBA (thiobarbituric acid) (Spirlandeli et al., 2014).

Kontraksi otot yang berlebihan meningkatkan kebutuhan energi otot, yang juga meningkatkan kebutuhan asupan oksigen ke dalam jaringan dan masuknya elektron ke dalam rantai pernapasan di mitokondria. Peningkatan produksi radikal bebas akan menjadi hasil dari peningkatan volume oksigen ini. Ini pada akhirnya akan mencapai keseimbangan antara pertahanan antioksidan tubuh dan pembentukan radikal bebas. Keseimbangan ini dapat dirusak oleh tingkat produksi radikal bebas yang berlebihan setelah latihan yang intens atau tidak teratur atau oleh kurangnya mekanisme pertahanan antioksidan yang memadai. Ketidakseimbangan antara radikal bebas dan antioksidan ini akan menimbulkan stres oksidatif yang dapat merusak protein, DNA, atau membran sel (Sinaga, 2016).

Menurut (Evans et al., 2002) jenis kontraksi otot akan berdampak signifikan pada tingkat dan cakupan kerusakan otot, cedera otot yang lebih besar akan dihasilkan dari kontraksi otot eksentrik daripada kontraksi otot

konsentris atau isometrik. Tingkat ekstensi otot, jumlah waktu yang dihabiskan untuk berolahraga, dan kekuatan kontraksi maksimum semuanya menentukan seberapa banyak kerusakan yang terjadi pada otot. Berbeda dengan pemanjangan otot yang cepat, di mana siklus jembatan silang tidak dapat mengikuti dan menyebabkan cedera otot, pemanjangan otot yang lambat memungkinkan siklus "jembatan silang" untuk mengikuti variasi (ritme) pemanjangan otot. Karena ada lebih sedikit unit motorik yang terlibat dalam kontraksi otot eksentrik daripada kontraksi otot konsentris, setiap serat otot mengalami lebih banyak tekanan mekanis. Berbeda dengan manusia, hewan biasanya mengalami cedera pada otot kedutan cepatnya.

Setelah mengikuti beberapa olahraga, kadar laktat dehidrogenase (LDH) dan kreatin kinase (CK) dalam darah akan meningkat (LDH). Permeabilitas sel yang disebabkan oleh cedera jaringan dapat dideteksi secara tidak langsung dengan peningkatan kadar enzim seluler dalam darah. Ketika diperiksa di bawah mikroskop elektron, kerusakan terlihat pada mitokondria, retikulum sarkoplasma, sarkolema, dan Z-line (Z-line streaming). Setelah peningkatan VO_2 pada aktivitas, produksi radikal bebas dan produksi peroksidasi lipid (LPO), termasuk peroksidasi PUFA, meningkat 20 X dari normal dan berkorelasi positif dengan kerusakan jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa produksi radikal bebas saat beraktivitas lebih besar daripada saat istirahat. Latihan meningkatkan VO_2 , yang pada gilirannya menyebabkan peningkatan produksi radikal bebas oksigen (ROS). Ketika mekanisme transpor elektron aktif di mitokondria, dua hingga empat persen oksigen yang digunakan sel akan menghasilkan produksi radikal bebas oksigen (ROS). Produksi radikal superoksida terjadi selama kontraksi otot dan perfusi selama istirahat otot (Bouchez, 2015).

Olahraga menurunkan kadar dua kofaktor yang diperlukan enzim pemulung untuk mengonsumsi radikal bebas: nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) dan nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH). Pada beban kerja maksimal, proses glikolitik juga akan menghasilkan asam laktat yang akan menurunkan kadar NAD dan NADP dalam sel serta merusak aktivitas enzim antioksidan. Menurut penjelasan ini, olahraga berat akan meningkatkan radikal bebas yang pada gilirannya akan meningkatkan peroksidasi lipid (LPO). Perubahan dalam metabolisme glutathione intraseluler, peningkatan permeabilitas membran sel, penurunan transportasi kalsium dalam retikulum sarkoplasma, perubahan fungsi mitokondria, dan pembentukan toksin metabolik adalah semua kemungkinan efek peroksidasi membran lipid (Dekkers

et al., 1996).

Ketegangan mekanis pada otot, perubahan kondisi otot yang disebabkan oleh variabel mekanis, dan kadar senyawa radikal bebas semuanya meningkat dengan meningkatnya intensitas aktivitas fisik. Radikal bebas bertanggung jawab atas kerusakan otot yang terjadi selama dan segera setelah aktivitas fisik (Evans et al., 2002). Aktivitas menyebabkan lebih banyak kerusakan otot, yang meningkat selama latihan, mencapai puncaknya 48-72 jam setelah latihan, dan kemudian pulih normal setelah 168 jam (Lenn, J. et al. 2002).

Pada pemeriksaan tidak langsung untuk mengetahui kadar penanda stres oksidatif, waktu pengambilan sampel sangat penting karena waktu puncak peningkatan kadar penanda stres oksidatif adalah waktu terbaik pengambilan sampel. Jika pengambilan sampel dilakukan di luar waktu puncak peningkatan kadar penanda stres oksidatif, maka hasil yang didapatkan tidak akan menggambarkan keadaan kadar stres oksidatif yang sebenarnya. Selama latihan dan beberapa kali secara berurutan dalam 24 jam setelah latihan selesai, pengambilan sampel harus dilakukan untuk mengevaluasi indikator stres oksidatif yang berkembang karena efek akut dari aktivitas fisik (Michailidis et al., 2007).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efek latihan fisik akut akan segera meningkatkan kadar penanda stres oksidatif dan akan menurun setelah 24 jam selesai melaksanakan latihan fisik, tergantung intensitas serta durasi latihan fisiknya. Fatourus dkk. melaporkan bahwa kadar MDA akan cenderung naik dan mencapai puncaknya dalam waktu 24 jam setelah bermain sepak bola (Ikolaidis et al., 2010). Sedangkan Michailidis dkk melaporkan penelitian tentang perubahan kadar penanda stres oksidatif setelah latihan aerobik, menunjukkan bahwa kadar TBARS (*thiobarbituric acid reactive substance*) akan meningkat ketika melakukan latihan fisik, mencapai puncaknya dalam 1 jam sesudahnya, dan penurunan drastis terjadi dalam 4 jam berikutnya (Michailidis et al., 2007).

F. Tinjauan Tentang Laktat Dehidrogenase (LDH)

1. Definisi dan Metabolisme LDH

Laktat Dehidrogenase (LDH) adalah enzim transfer hidrogen yang mengkatalis oksidasi L-laktat menjadi piruvat dengan *nicotinamide-adenine dinucleotide* (NAD)⁺ sebagai penerima hidrogen, yang merupakan langkah

akhir pada rantai metabolisme anaerob glikolisis. Reaksi ini bersifat reversibel dan keseimbangan reaksi sangat mendukung terjadinya reaksi terbalik, yaitu reduksi piruvat (P) menjadi laktat (L). LDH merupakan enzim esensial di semua organ tubuh yang terletak dalam sitosol (intrasel). Adanya LDH dalam medium atau ekstrasel menunjukkan bahwa telah terjadi kerusakan atau kematian sel. (Brancaccio et al., 2010).

Tipe M dan tipe H adalah dua dari empat rantai peptida yang menyusun enzim ini. Setiap jenis berada di bawah kontrol genetik yang berbeda. Karena prevalensinya di jaringan ini, subunit jantung (H) atau subunit otot (M) menerima namanya. Lima isoenzim yang membentuk LDH masing-masing memiliki karakteristik fisik dan kimia yang unik. Semua isoenzim ini mengkatalisasi proses biokimia yang sama, tetapi berbeda dalam susunan molekuler dan spesialisasi organ. Akibatnya, sumber pelepasan LDH dapat ditentukan dengan menggunakan pola isoenzim ini (Torres et al., 2009).

Lima isoenzim LDH yang berbeda adalah LDH 1, LDH 2, LDH 3, LDH 4, dan LDH 5. Isoenzim tersebut adalah 4 H untuk LDH 1, 3 H untuk LDH 2, 2H untuk LDH 3, dan 4 M untuk LDH 5. Menurut susunan kimianya, LDH 1 dan LDH 2 adalah isoenzim yang terutama ditemukan di jantung dan dianggap membantu dalam konversi laktat menjadi piruvat, sedangkan LDH 4 dan LDH 5 terutama ditemukan di hati dan otot dan cenderung untuk membalikkan reaksi untuk membuat laktat (Torres et al., 2009).

Spektrofotometer digunakan untuk mengukur aktivitas LDH menggunakan teknik flourometer dan kolorimeter. Laju perubahan konsentrasi NADH diukur menggunakan metode kolorimeter. Hasil diberikan dalam satuan liter (U/L), yang sama dengan (mol/menit reaksi NADH per liter sampel terukur) (Rahaju, Minto 2003).

2. LDH sebagai Biomarker Kerusakan Otot

Reduksi piruvat menjadi laktat dikatalisis oleh LDH, yang juga menghasilkan NAD⁺. Produk sampingan dari respons Respons Laktat Dehidrogenase (LDH) selama aktivitas fisik yang intens adalah laktat. LDH memengaruhi produksi asam laktat, dan kadar kedua zat tersebut biasanya meningkat sebagai respons terhadap cedera sel (Murray dan Harper, 2012). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aktivitas fisik aerobik dan anaerobik meningkatkan kadar LDH (Admin et al., 2019).

Selama latihan intensitas tinggi yang berkepanjangan, jaringan otot dapat rusak secara mekanis atau metabolik. Enzim otot rangka dan protein spesifik

adalah beberapa tanda cedera otot yang terlihat pada serum. Kreatinin kinase (CK), laktat dehidrogenase (LDH), aldolase, mioglobin, troponin, aspartat aminotransferase, dan karbonat anhidrase CAIII adalah beberapa penanda darah yang paling membantu untuk mengevaluasi cedera otot (Brancaccio et al., 2010).

Peningkatan beban latihan (latihan intensitas tinggi) pada jaringan otot mengubah permeabilitas membran sel. Cairan intraseluler dan enzim akan mengalir ke ruang interstitial dan sirkulasi saat beban latihan meningkat dan transfer ini tidak dapat lagi dibatasi, menyebabkan membran membentuk blep dan cairan sitoplasma bergerak. Namun demikian, jaringan dalam situasi ini belum mengalami nekrosis (Brancaccio et al., 2010).

Pada beban kerja maksimal, proses glikolitik juga akan menghasilkan asam laktat yang akan menurunkan kadar NAD dan NADP dalam sel serta merusak aktivitas enzim antioksidan. Menurut penjelasan ini, olahraga berat akan meningkatkan radikal bebas yang pada gilirannya akan meningkatkan peroksidasi lipid (LPO). Perubahan dalam metabolisme glutathione intraseluler, peningkatan permeabilitas membran sel, penurunan transportasi kalsium dalam retikulum sarkoplasma, perubahan fungsi mitokondria, dan pembentukan toksin metabolik adalah semua kemungkinan efek peroksidasi membran lipid (Dekkers et al., 1996).

Indikator kerusakan sel adalah tingkat aktivitas serum LDH, dan diagnosis rhabdomyolysis akut non-traumatik dapat dilakukan dengan melihat peningkatan beberapa isoenzim tertentu. LDH meningkat secara signifikan setelah berolahraga. Panjang dan intensitas latihan menentukan berapa banyak tingkat LDH meningkat. Sementara latihan eksentrik meningkatkan kadar LDH pada hari ketiga hingga kelima setelah latihan, latihan daya tahan jangka panjang, seperti lari maraton, menyebabkan aktivitas LDH menjadi empat kali lipat dan tetap tinggi selama dua minggu (Brancaccio et al., 2010).

Penelitian (ROSE et al., 1980) membuktikan Aktivitas LDH plasma meningkat segera setelah latihan atau aktivitas fisik lainnya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Sari Octarina Piko et al (Admin et al., 2019) membandingkan pengaruh senam aerobik dan anaerobik terhadap kadar laktat dan laktat dehidrogenase (LDH) pada mahasiswa FKIP Jurusan Pendidikan Olahraga Universitas Bina Darma Kota Palembang mengungkapkan bahwa kedua jenis olah raga tersebut meningkatkan kadar LDH . Kadar LDH memiliki nilai rata-rata $131,59 \pm 15,496$ U/L sebelum senam aerobik, sedangkan mereka

memiliki nilai rata-rata $158,06 \pm 17,108$ U/L setelah senam aerobik. Kadar LDH berbeda bermakna sebelum dan sesudah senam aerobik ($p=0,000$). Kadar LDH memiliki nilai rata-rata $141,41 \pm 19,378$ U/L sebelum latihan anaerobik, dan nilai rata-rata $159,41 \pm 20,782$ U/L setelah latihan anaerobik. sampel darah diambil 5 menit sebelum dan 30 menit setelah latihan aerobik dan anaerobik pada penelitian ini untuk mengukur kadar laktat dan LDH

Tabel 3. Perbedaan Kadar Laktat dan LDH antara Perlakuan pada Kelompok Aerobik dan Anaerobik

Variabel	Aktivitas Fisik Aerobik		p^*	Aktivitas Fisik Anaerobik		p^*	p^{**}
	Sebelum	sesudah		Sebelum	sesudah		
Asam laktat	2971.24 ± 836.50	8753.71 ± 3267.767	0,00	3187.59 ± 856.711	7820.59 ± 7820.59	0,00	0,37
	5		0			0	3
LDH	131.59 ± 15.496	158.06 ± 17.108	0,00	141.41 ± 19.378	159.41 ± 20.782	0,00	0,83
			0			0	7

p^* : *t-test* berpasangan

p^{**} : *t-test* tidak berpasangan

Gambar 2.6. Perbedaan Kadar Laktat dan LDH antara Perlakuan pada Kelompok Aerobik dan Anaerobik (Admin et al., 2019)

G. Tinjauan Tentang Hubungan Antara Usia, Kecepatan Rata-Rata, Kategori Latihan, Indeks Massa Tubuh, VO₂ Max, dan Merokok Terhadap Perubahan Kadar MDA dan LDH

Pengukuran aktivitas fisik yang tepat harus mempertimbangkan intensitas, durasi, frekuensi, dan interval latihan. Tingkat indikator yang lebih tinggi untuk kerusakan, peradangan, cedera otot, dan kerusakan jantung telah dikaitkan dengan peningkatan kecepatan dan jarak dalam studi atlet yang berkompetisi dalam acara ultra-endurance (Rubio-Arias et al., 2019).

Bersepeda sebagai salah satu jenis aktivitas fisik aerobik yang menggunakan energi Adenosine Triphosphate (ATP) dari hasil proses oksidasi fosforilase glikogen dan asam lemak bebas dan meliputi gerakan otot besar seperti *Quadriceps*, *Gluteus*, *Hamstring*, *Anterior Tibialis*, *Hip Flexor*, *Bisep* dan *Tricep* dalam suatu irama dan periode tertentu. Proses metabolisme tergantung dari ketersediaan oksigen (Astrand et al, 2003). Bersepeda digemari oleh semua kalangan dengan beragam usia mulai 20-60 tahun.

Perbedaan usia menunjukkan kadar stres oksidatif yang meningkat seiring pertambahan umur sejak 40 tahun, sehubungan dengan penurunan kapasitas antioksidan endogen pada usia lanjut (FisherWellman & Bloomer, 2009). Sedangkan pada penelitian di India tahun 2006 menunjukkan bahwa usia muda berpengaruh

meningkatkan kadar stress oksidatif dimana menambah nilai prediksi CAD (Sharma et al., 2008).

Dari hasil analisis statistik berdasarkan kadar MDA dan umur terdapat perbedaan yang bermakna antara kelompok TBDM, TB dan kontrol sehat (0,001) karena dengan bertambahnya usia, maka kerusakan sel yang terjadi mengalami peningkatan akibat peningkatan kadar MDA yang dapat menyebabkan terjadinya berbagai penyakit degeneratif, kematian sel vital tertentu yang pada akhirnya menyebabkan proses penuaan (Gitawati, R, 1995, Purnomo, S, 2000).

Ketika melakukan latihan yang berlebihan (*overtraining*) dapat meningkatkan konsumsi oksigen 100–200 kali lipat dibandingkan kondisi istirahat. Peningkatan penggunaan oksigen terutama oleh otot–otot yang berkontraksi, menyebabkan terjadinya kebocoran elektron dari mitokondria yang akan menjadi ROS (*Reactive Oxygen Species*). Kebutuhan energi pada otot yang kontraksi berlebihan yang meningkat, berarti memerlukan pemasukan oksigen ke dalam jaringan juga meningkat dan pemasukan elektron kedalam rantai respirasi pada mitokondria juga meningkat (Brancaccio et al., 2010).

Peningkatan VO₂ ini akan mengakibatkan pembentukan radikal bebas meningkat. Keadaan seimbang akan terjadi antara produksi radikal bebas dengan pertahanan antioksidan. Keseimbangan ini dapat hilang karena produksi radikal bebas yang berlebihan setelah latihan yang berlebihan atau tidak teratur. Akibat ketidakseimbangan antara radikal bebas dan antioksidan ini akan timbul stres oksidatif yang dapat merusak membran sel, DNA, atau protein sehingga timbul rasa nyeri. Kondisi otot jelek yang ditunjukkan dengan peningkatan kadar MDA. MDA yang dihasilkan kemudian dilepaskan ke darah (Kawamura & Muraoka, 2018).

Produksi radikal bebas berupa MDA akan menyebabkan kerusakan sel yang akan memicu proses pembentukan asam laktat dan kadar LDH (Vasudevan et al., 2016). Radikal bebas dapat terbentuk selama dan setelah latihan oleh otot yang berkontraksi serta jaringan yang mengalami iskemik-reperfusi (Chevion et al., 2003). Bila laju pembentukan radikal bebas sangat meningkat melebihi 5% karena terpicu oleh aktifitas yang berat dan melelahkan, jumlah radikal bebas akan melebihi kemampuan kapasitas sistem pertahanan antioksidan.

Radikal bebas ini dapat menyerang asam lemak tak jenuh ganda pada membran sel. Asam lemak tak jenuh merupakan komponen utama dari membran sel (sarkolema), serangan oksidan pada PUFA: akan terbentuk malondialdehid (MDA), sehingga MDA masuk ke darah mengakibatkan kadarnya dalam darah meningkat.

Oksidan juga akan menyerang sel-sel sekitarnya, sehingga sel sekitarnya menjadi radikal bebas yang menyebabkan kerusakan sel-sel otot dan tulang yang aktif bekerja. Kelelahan dan nyeri pada otot aktif yang sering menyertai latihan fisik yang berat dan melelahkan, merupakan tanda paling jelas adanya kegiatan radikal bebas. Demikian seterusnya sehingga terjadi reaksi berantai akibat dari stres oksidatif (Cooper, 2000).

Aktivitas fisik yang berlebihan (*overtraining*) juga sangat membutuhkan energi sehingga menyebabkan metabolisme tubuh meningkat. Pada kondisi ini, sel-sel mengalami penurunan persediaan oksigen sehingga ATP di dalam tubuh berkurang. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan ATP maka metabolisme tubuh akan bergeser dari metabolisme aerobik menjadi metabolisme anaerob (glikolisis anaerob). Metabolisme ini dikatalisis oleh enzim laktat dehidrogenase (LDH) (Khonsary, 2017)

Makin tinggi intensitas aktivitas fisik maka makin tinggi tingkat metabolisme tubuh dan metabolisme makin bergeser ke arah metabolisme anaerobik (glikolisis anaerobik) (Patellongi dan Badriah 2003). Latihan daya tahan dalam waktu yang lama akan merangsang sabut otot tipe II (sabut otot putih atau *fast-twitch*) yang menggunakan sistem energi anaerobik sebagai hasil sampingnya adalah pembentukan asam laktat. Peningkatan asam laktat akan merubah senyawa oksigen reaktif menjadi lebih reaktif (Patellongi dan Badriah, 2003). Kadar laktat yang tinggi menurunkan pH yang dapat merangsang prostaglandin dan leukotrien yang membentuk radikal bebas oksigen (Sugiharto, 2000).

Laktat Dehidrogenase (LDH) merupakan enzim yang dibutuhkan untuk mengkatalisis perubahan dari asam piruvat menjadi asam laktat pada kondisi glikolisis anaerob. LDH dibutuhkan untuk mempertahankan glikolisis dan produksi adenosina trifosfat (ATP) pada kondisi minim oksigen dengan cara meregenerasi nikotinamida adenine dinukleotida bentuk teroksidasi (NAD⁺) dari nikotinamida adenina dinukleotida hydrogen bentuk tereduksi (NADH). LDH berfungsi mengkatalisis proses reduksi piruvat menjadi laktat dan menghasilkan NAD⁺. Produknya, yaitu laktat merupakan hasil samping dari reaksi Respon Laktat Dehidrogenase (LDH). LDH mempengaruhi proses pembentukan asam laktat, dan kadar LDH serta asam laktat umumnya meningkat jika ada kerusakan sel (Murray and Harper, 2012). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa, terjadi peningkatan kadar LDH pada aktivitas fisik aerobik dan anaerobik (Admin et al., 2019).

Kemudian latihan yang berlebihan menyebabkan penurunan *Nicotinamide*

Adenine Dinucleotide (NADH) dan penurunan kadar *Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphat* hydrogen (NADPH), keduanya merupakan kofaktor yang diperlukan *scavenging* enzyme untuk memakan radikal bebas. Pada beban kerja yang maksimal terbentuknya asam laktat dari proses glikolisis juga akan menurunkan kadar NAD dan NADP didalam sel sehingga menurunkan fungsi enzim antioksidan.

Dari uraian ini, aktivitas fisik dengan beban maksimal akan meningkatkan radikal bebas yang selanjutnya meningkatkan lipid peroksidasi (LPO). Peroksidasi membran lipid dapat mengakibatkan berubahnya fungsi sel seperti meningkatnya permeabilitas membran sel, menurunnya transport Calsium dalam sarkoplasmik retikulum, perubahan fungsi mitokondria, pembentukan bahan-bahan toksik metabolisme dan perubahan metabolisme glutathion intraselluler (Dekkers et al., 1996).

Untuk menggambarkan kerusakan jaringan maupun organ, salah satunya otot rangka dapat dilakukan dengan melihat terjadinya peningkatan aktivitas LDH. Pada jaringan yang rusak seperti terjadinya nekrosis maupun perubahan permeabilitas sel akan memicu pengeluaran enzim LDH. Dan juga kadar laktat yang tinggi dalam otot akibat dari hasil akhir glikolisis anaerobik yang dikatalisis oleh enzim LDH dapat mengakibatkan penurunan pH yang akan menghambat kerja enzim dan mengganggu reaksi kimia di dalam sel, sehingga dapat mengakibatkan kontraksi otot bertambah lemah dan akhirnya otot mengalami kelelahan. Serta peningkatan enzim LDH di dalam sel otot mengindikasikan terjadinya iskemik dan hipoksia (Lieberman , Marks, Allan D., Peet, Alisa., 2013) (Goodwin et al., 2007).

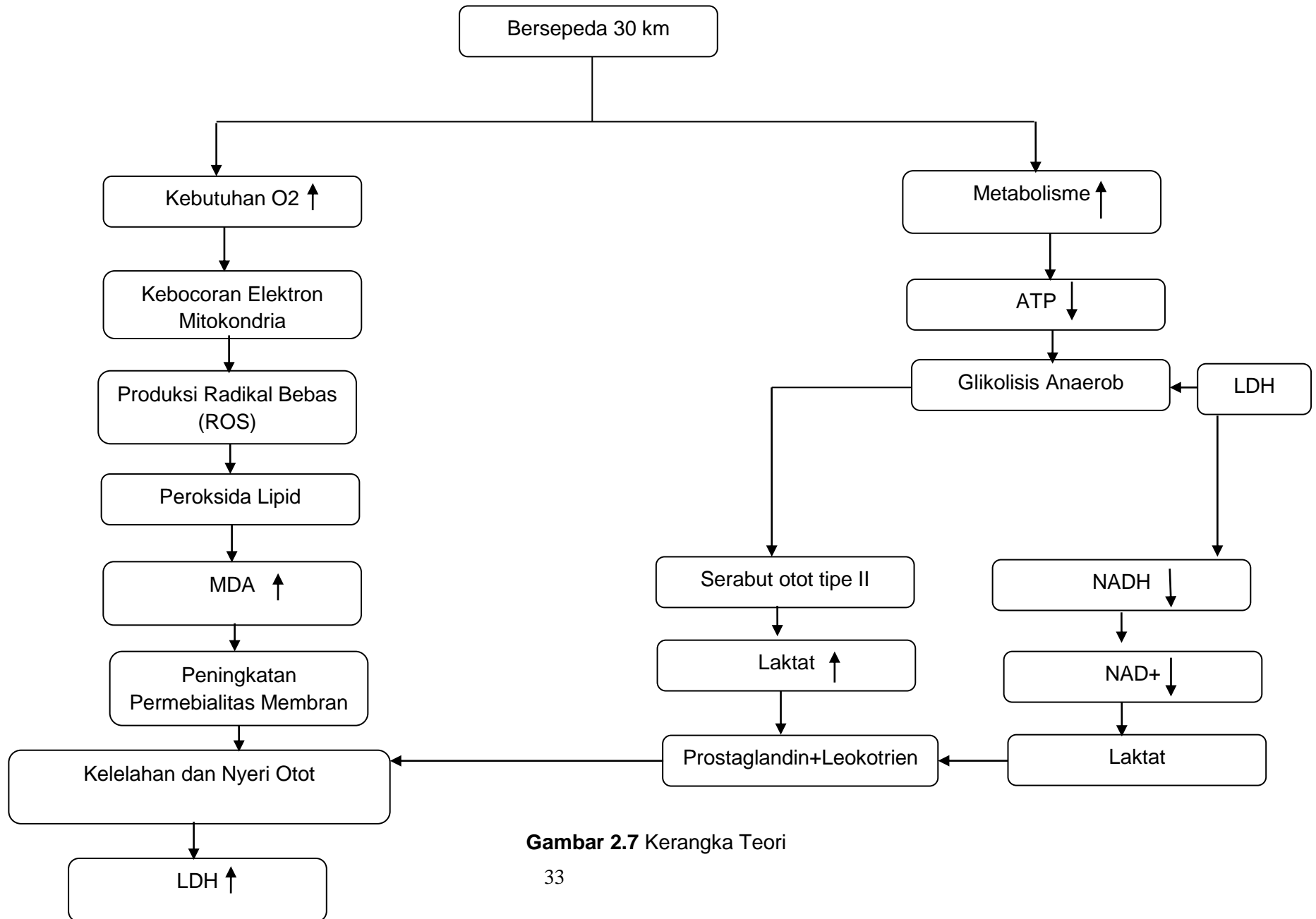
Faktor-faktor yang turut mempengaruhi stress oksidatif adalah

- a. Frekuensi latihan fisik bisa mengganggu fisiologis tubuh, sehingga tujuan dari latihan tidak tercapai dengan maksimal (Mastaloudis et al., 2001).
- b. VO₂ max yang menurun dengan menurunnya usia dan apabila tidak melakukan aktifitas fisik. Latihan fisik teratur dapat meningkatkan VO₂ max sebesar 5-30% (Hawkins & Wiswell, 2003).
- c. BMI tinggi (obesitas) memiliki metabolisme lemak yang tinggi sehingga meningkatkan produksi radikal bebas di dalam jaringan lemak (A. R. Budi et al., 2017).
- b. Merokok karena adanya konsumsi nikotin yang terus menerus sehingga menyebabkan rusaknya membrane lipid dan nikotin dapat meningkatkan

produksi dopamine dalam otak sehingga dapat menyebabkan suatu kecanduan sehingga radikal bebas yang dihasilkan lebih banyak. (Nufus et al., 2020)

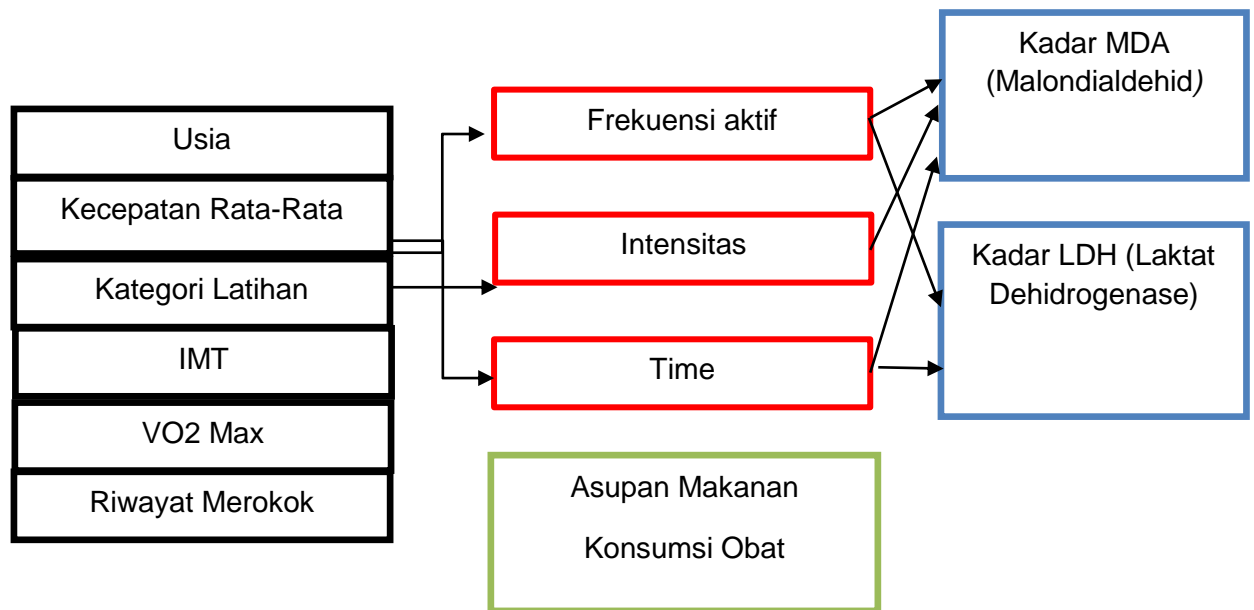
Faktor-faktor tersebut berpengaruh terhadap peningkatan radikal bebas berupa peningkatan kadar MDA yang mempengaruhi kondisi otot atau kerusakan otot yang memicu peningkatan kadar LDH ke ekstrasel selama dan setelah bersepeda.

H. Kerangka Teori

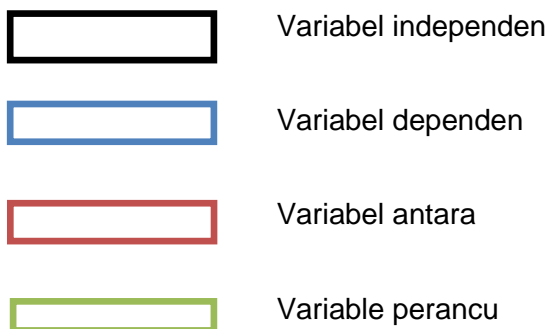


Gambar 2.7 Kerangka Teori

I. Kerangka Konsep



Gambar 2.8 Kerangka Konsep



J. Hipotesis Penelitian

1. Terjadi peningkatan kadar MDA dan LDH pada kelompok usia.
2. Terjadi peningkatan kadar MDA dan LDH pada kelompok kecepatan.
3. Terjadi peningkatan kadar MDA dan LDH pada kelompok kategori latihan.
4. Terjadi peningkatan kadar MDA dan LDH pada kelompok Indeks Massa Tubuh.
5. Terjadi peningkatan kadar MDA dan LDH pada kelompok VO2 max.
6. Terjadi peningkatan kadar MDA dan LDH pada kelompok perokok.
7. Ada korelasi antara perubahan kadar MDA dengan kadar LDH setelah event bersepeda 30 km.

K. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif

N o	Variabel Independen	Definisi Operasional	Indikator	Alat Ukur	Skala	Skor
1	Usia	Rentang kehidupan yang diukur dengan tahun.	Usia responden	Tanggal, bulan, dan tahun lahir	Numerik Rasio	Klp 1 : :30-45 th Klp 2 : :46-60 th
2	Kecepatan rata-rata	Jarak perjalanan rata-rata yang ditempuh setiap satuan waktu saat start hingga finish	Dalam sekali <i>event</i> bersepeda	Aplikasi <i>Strava</i>	Numerik Rasio	Klp 1 : >media n Klp 2 : <media n
3	Kategori Latihan	Dikelompokkan ke dalam <i>trained</i> dan <i>untrained</i>	Frekuensi bersepeda	Wawancara/kuesioner	Numerik	Klp 1 : <i>trained</i> Klp2 : <i>untrained</i>
4	Indeks Massa Tubuh	Alat untuk mengetahui status gizi seseorang berkaitan dengan kekurangan dan kelebihan berat badan.	Berat badan dan tinggi badan	Timbangan BB dan meteran	Numerik	Klp 1 : Ideal Klp 2 : Overw eight
5	VO2 Max	Ambilan oksigen maksimal yang digunakan oleh tubuh per menit	Sebelum <i>event</i> bersepeda	<i>Bleep test</i>	Numerik	Klp 1 : Baik Klp 2 : Buruk

		selama latihan				
6	Merokok	Pesepeda yang aktif merokok	Riwayat merokok	Wawancara/kuesioner	Ordinal	Klp 1: Merokok Klp 2: Tidak Merokok
No	Variabel Dependen	Definisi Operasional	Indikator	Alat Ukur	Skala	Skor
1	Malondialdehid (MDA)	Salah satu hasil dari peroksidasi lipid yang disebabkan oleh radikal bebas	ELISA (<i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i>)	Pengambilan biomarker darah sebelum dan sesudah bersepeda	Numerik	400-600 ng/ml (diambil dari mean)
2	Laktat Dehidrogenase (LDH)	Enzim yang membantu proses diagnostik pada beberapa penyakit spesifik di jaringan atau organ otot skeletal	ELISA (<i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i>)	Pengambilan biomarker darah sesudah dan sebelum bersepeda	Numerik	<5.77 µkat/L
No	Variabel Antara	Definisi Operasional	Indikator	Alat Ukur	Skala	Skor
1.	Frekuensi aktif	Fase ketika pesepeda aktif mengayuh sepedanya	Dalam sekali <i>event</i> bersepeda			-

2	Intensitas	Seberapa beratnya kerja tubuh atau jumlah kekuatan fisik pada saat latihan	MHR (Maximum Heart Rate)	Manual	Numerik Interval	Rendah (ringan): 40-54% MHR. Sedang: 55-69% MHR. Tinggi (kuat): $\geq 70\%$ MHR
3	Durasi/ <i>Time</i>	Total waktu selama bersepeda dimulai dari start hingga finish	Dalam sekali <i>event</i> bersepeda	Aplikasi <i>Strava</i>	Numerik Rasio	-