

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 Aktivitas Fisik Maksimal**

Menurut World Health Organization (2013), aktivitas fisik adalah gerakan tubuh yang dihasilkan oleh otot rangka yang memerlukan pengeluaran energi.<sup>2</sup> Dalam kehidupan, manusia menghabiskan sebagian besar waktu sadar mereka (kurang lebih 85-90%) untuk beraktivitas. Ada berbagai jenis aktivitas fisik yang sering dilakukan, seperti latihan fisik (olahraga), bekerja, berjalan kaki, berlari, berenang, naik turun tangga dan sebagainya. Aktivitas fisik dibagi menjadi tiga golongan yaitu ringan, sedang atau moderat, dan berat.<sup>1</sup> Aktivitas fisik yang dapat meningkatkan sistem pertahanan tubuh adalah aktivitas fisik dengan intensitas rendah dan intensitas sedang, karena aktivitas pada tingkat ini mengacu pada program aktivitas fisik yang dirancang untuk meminimalkan pengeluaran radikal bebas. Sedangkan aktivitas fisik yang maksimal dan melelahkan dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas dalam tubuh.<sup>17</sup>

Mekanisme terbentuknya radikal bebas selama aktivitas fisik maksimal melalui dua cara. Pertama, radikal bebas terbentuk disebabkan lepasnya elektron superoksida dari mitokondria. Pada aktivitas fisik maksimal terjadi peningkatan konsumsi oksigen sampai 20 kali, bahkan dalam otot dapat mencapai 100 kali. Penggunaan oksigen yang berlebih ini dapat memicu pembentukan radikal bebas diberbagai jaringan tubuh. Kedua, terbentuknya

radikal bebas erat hubungannya dengan iskemia-perfusi. Pada saat aktivitas fisik maksimal, terjadi hipoksia relatif sementara di jaringan beberapa organ yang tidak aktif seperti ginjal, hati dan usus. Hal ini terjadi sebagai mekanisme kompensasi peningkatan pasokan darah ke otot yang bekerja secara aktif. Selain itu, selama aktivitas fisik dengan intensitas tinggi dan denyut nadi mencapai 80-85% denyut nadi maksimal, serabut otot menjadi relatif hipoksia karena pada saat otot berkontraksi dengan kuat akan memeras pembuluh darah intramuskular dibagian otot yang aktif, akibatnya akan terjadi penurunan aliran darah menuju otot yang aktif untuk sementara. Setelah selesai aktivitas fisik, darah dengan cepat kembali ke berbagai organ yang kekurangan aliran darah tadi, sehingga ketika terjadi perfusi menyebabkan sejumlah radikal bebas ikut dalam sirkulasi aliran darah.<sup>17</sup>

Sumber utama produksi senyawa oksigen reaktif selama aktivitas fisik adalah sebagai berikut :

1. Rantai transfor elektron mitokondria, terutama pada kompleks 1 (NADH-ubiquinone reductase) dan kompleks 3 (ubiquinone-cytichrome c reductase), yaitu tempat pembentukan radikal superoksida dan hydrogen peroksida.
2. Jalur xanthin oxidase melalui mekanisme iskemia-reperfusi jantung. Selama iskemia, ATP diubah menjadi AMP. Jika suplai oksigen kurang maka AMP akan diubah menjadi hypoxanthin yang selanjutnya diubah menjadi xanthin dan asam urat oleh xanthin oksidase, yang akhirnya membentuk radikal superoksida.

3. Neutrofil dan respon inflamasi, yang merupakan sumber sekunder produksi ROS selama periode recovery setelah aktivitas fisik berat.
4. Katekolamin, dimana pada latihan jangka panjang terjadi peningkatan metabolisme oksidatif melalui aktivasi reseptor  $\beta$ -adrenergik yang menyebabkan produksi ROS dalam mitokondria meningkat.<sup>18</sup>

## 1.2 Radikal Bebas

Radikal bebas adalah suatu senyawa atau molekul yang mengandung satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbital luarnya. Radikal bebas seperti superoksida, radikal hidroksil, alkoxyl, dan peroxyyl termasuk bagian dari ROS. ROS diproduksi dalam sel dengan rantai transport elektron dan beberapa enzim seperti xanthine oxidase, aldehida oksidase, sitokrom-P450 monooksigenase. Peningkatan produksi ROS dapat dipicu oleh faktor eksogen (variasi suhu, radioaktif, radiasi ultraviolet, xenobiotik), kelainan metabolik, penyakit hereditas yang mempengaruhi rantai transport elektron, kekurangan antioksidan atau ketidakseimbangan metabolisme.<sup>19</sup> Di dalam sel hidup, radikal bebas terbentuk pada membran plasma, mitokondria, peroksisom, retikulum endoplasma dan sitosol melalui reaksi-reaksi enzimatik yang berlangsung dalam proses metabolisme.<sup>20</sup>

Secara umum tahapan reaksi pembentukan radikal bebas melalui tiga tahapan reaksi sebagai berikut :

- a. Tahapan inisiasi, yaitu tahapan pembentukan radikal bebas.
- b. Tahapan propagasi, yaitu pemanjangan rantai radikal.

c. Tahapan terminasi, yaitu bereaksinya senyawa radikal dengan radikal lain atau dengan penangkapan radikal, sehingga potensi propagasinya rendah.<sup>20</sup>

Tubuh memiliki mekanisme proteksi untuk menetralkan radikal bebas yang terbentuk, antara lain dengan adanya enzim-enzim superoksida dismutase (SOD), katalase, dan glutathion peroksidase (GPX). Namun dalam kondisi tertentu, radikal bebas dapat melebihi sistem pertahanan tubuh, kondisi ini disebut sebagai stress oksidatif.<sup>20</sup> Stres oksidatif terbentuk ketika bentuk oksigen yang reaktif dihasilkan dengan cepat tanpa bisa dinetralkan oleh mekanisme pertahanan sel yang dilakukan oleh anti oksidan. Hal ini menyebabkan kerusakan makromolekul biologis dan gangguan fungsi dan metabolisme normal.<sup>21</sup>

Kerusakan sel oleh radikal bebas didahului oleh kerusakan membran sel. Kerusakan membran sel tersebut dapat terjadi dengan cara:

- a) Terjadi ikatan kovalen antara radikal bebas dengan komponen membran, sehingga terjadi perubahan struktur dari fungsi reseptor.
- b) Oksidasi gugus thiol pada komponen membran sel oleh radikal bebas yang menyebabkan proses transport membran terganggu.
- c) Terjadi reaksi peroksidasi lipid membran yang mengandung PUFA (polyunsaturated fatty acid).<sup>22</sup>

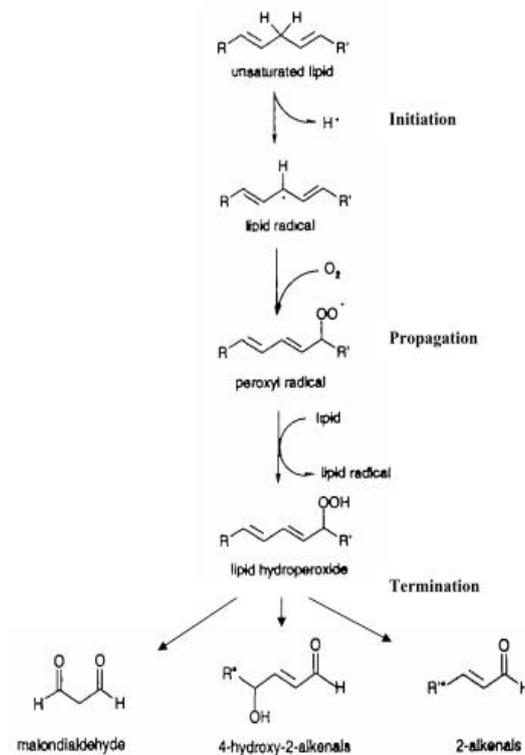
### **1.3 Peroksidasi Lipid**

Peroksida lipid terbentuk sebagai hasil reaksi antara radikal bebas dengan asam lemak tidak jenuh (PUFA = Poly Unsaturated Fatty Acid)

yang merupakan unsur utama dari membran sel. Proses peroksida lipid umumnya dimulai dengan penarikan atom hidrogen yang mengandung satu elektron dari ikatan rangkap PUFA membentuk radikal lipid. Penambahan oksigen akan menyebabkan terbentuknya radikal peroksil lipid yang selanjutnya akan menarik lagi atom hidrogen dari ikatan rangkap PUFA yang lain, sehingga terbentuk radikal lipid berikutnya. Sedangkan radikal peroksil lipid tersebut akan mengalami dekomposisi menjadi peroksida lipid. Peroksida lipid bersifat tidak stabil dan akan terurai menghasilkan sejumlah senyawa, antara lain MDA.<sup>23</sup>

Oksidasi lipid terjadi melalui tiga tahapan, yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Reaksi inisiasi terjadi di antara asam lemak tidak jenuh dengan radikal hidroksil membentuk radikal karbon. Selanjutnya radikal karbon yang terbentuk akan beresonansi dengan elektron yang tidak berpasangan membentuk biradikal yang memiliki 2 elektron yang tidak berpasangan. Reaksi ini terus berlanjut hingga senyawa radikal siap bereaksi dengan senyawa lainnya, sehingga terbentuk radikal peroksil yang memiliki 1 atom H yang berasal dari asam lemak yang terbentuk dari lipid hidroperoksida, dengan melepaskan radikal bebas lainnya untuk berpartisipasi dalam atom H berikutnya. Radikal hidroksil akan menginisiasi reaksi peroksidasi atom H tunggal, kemudian berubah menjadi produk radikal karbon (R) yang dapat bereaksi dengan atom oksigen. Radikal hidroksil juga mengawali reaktivitasnya dalam senyawa lipid.<sup>20</sup>

Produk peroksidasi lipid diinduksi oleh oksidan dan stres oksidatif menghasilkan produk dengan variasi yang luas, termasuk RCCs (Reactive carbonyl compounds) dan produk yang lebih stabil seperti keton dan alkane. RCCs seperti aldehid dan dikarbonil, termasuk hidroksialkane, akrolein, MDA, glyoxal dan methylglyoxal, sebagai komponen biologis yang banyak dibahas. Aldehid bereaksi dengan protein pada sel dan jaringan dan terbentuk adducts protein termasuk dalam kelompok ALEs (advanced peroxidation end products) yang akan menyebabkan disfungsi protein dan perubahan respon seluler. Kadar oksidasi dan bentuk adduct protein dalam kondisi fisiologis adalah rendah dan meningkat dengan bertambahnya umur dengan penurunan pertahanan tubuh oleh antioksidan.<sup>24</sup>



Gambar 1. Tiga fase reaksi berantai peroksidasi lipid.<sup>20</sup>

#### 1.4 Malondialdehyda (MDA)

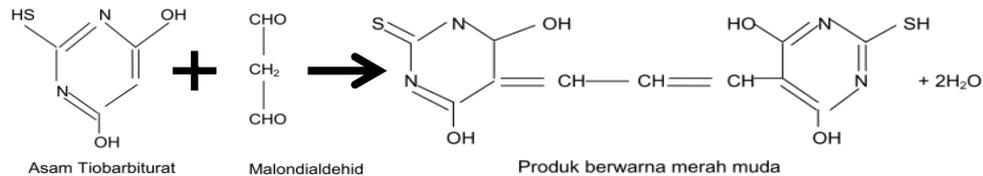
MDA adalah senyawa aldehida yang merupakan produk akhir peroksida lipid di dalam tubuh. Senyawa ini memiliki tiga rantai karbon, dengan rumus molekul  $C_3H_4O_2$ . MDA juga merupakan produk dekomposisi dari asam amino, karbohidrat kompleks, pentose dan heksosa. Selain itu, MDA juga merupakan produk yang dihasilkan oleh radikal bebas melalui reaksi ionisasi dalam tubuh dan produk sisa biosintesis prostaglandin yang merupakan produk akhir oksidasi lipid membran.<sup>20</sup>

MDA merupakan salah satu indikator peroksidasi lipid yang paling sering digunakan. MDA juga digunakan secara luas sebagai petanda biologik stres oksidatif karena sensitif dan bisa digunakan pada penelitian dalam jumlah besar. MDA merupakan produk peroksidasi lipid yang relatif konstan terhadap proporsi peroksidasi lipid, oleh karena itu merupakan indikator yang tepat untuk mengetahui kecepatan proses peroksidasi lipid *in vivo*.<sup>25</sup>

Pengukuran MDA mudah dilakukan baik secara spektrofotometrik atau fluometrik. Karena MDA tidak stabil maka cara penyimpanan sampel harus terlindung dari cahaya, dan bila tidak segera diperiksa harus disimpan pada suhu  $-70^{\circ}C$ . Penyimpanan  $-20^{\circ}C$  tidak memadai.<sup>26</sup>

Uji TBARs (thiobarbituric acid reactive substances), merupakan salah satu uji yang paling lama dan paling sering digunakan untuk mengukur proses peroksidasi lipid asam lemak tidak jenuh. Uji TBARs dapat menilai stress oksidatif berdasarkan reaksi asam tiobarbiturat dengan malondialdehid (MDA). Supernatan plasma (setelah protein diendapkan) direaksikan dengan

asam tiobarbiturat menghasilkan kromofor berwarna merah muda yang dibaca pada panjang gelombang 530 nm.<sup>27</sup>



Gambar 2. Reaksi malondialdehid dengan asam tiobarbiturat.<sup>27</sup>

### 1.5 Ubi Ungu (*Ipomoea batatas* L.)

Tanaman ubi (*Ipomoea batatas* L.) atau ketela rambat atau “sweet potato” adalah suatu jenis tanaman dikotil. Sistematika (taksonomi) tumbuhan, tanaman ubi ungu diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledonae

Ordo : Convolvulales

Famili : Convolvulaceae

Genus : *Ipomoea*

Spesies : *Ipomoea batatas*

Ubi ungu merupakan jenis umbi yang mempunyai banyak keunggulan dibanding umbi lainnya karena memiliki kandungan zat gizi yang beragam.<sup>28</sup>

Selain sebagai sumber energi dan karbohidrat, ubi ungu juga kaya akan vitamin dan mineral.

Vitamin yang terkandung dalam ubi ungu antara lain vitamin A, vitamin C, dan thiamin (vitamin B1). Dalam 100 gram ubi ungu didapatkan sekitar 9000  $\mu\text{g}$  betakaroten, sedangkan dalam 100 gram ubi putih dan kuning hanya mengandung 260  $\mu\text{g}$  dan 2900  $\mu\text{g}$ . Makin kuat intensitas warna ubi, makin besar pula kandungan betakarotennya.<sup>28</sup>

Betakaroten merupakan provitamin A yang akan diubah menjadi vitamin A di dalam tubuh. Betakaroten juga merupakan jenis antioksidan yang dapat berperan penting dalam mengurangi konsentrasi radikal peroksil. Kemampuan betakaroten bekerja sebagai antioksidan berasal dari kemampuannya untuk menstabilkan radikal berinti karbon.<sup>29</sup> Betakaroten menghambat MPT (*mitochondrial permeability transition*), menghambat pembentukan ROS, mengurangi aktivasi caspase 3 dan menghambat apoptosis.<sup>30</sup>

Vitamin A yang tinggi banyak dikandung oleh ubi ungu, yaitu 7.700 mg per 100 gram.<sup>28</sup> Vitamin A dapat meningkatkan daya tahan tubuh dan membantu memperbaiki kerusakan jaringan, dan karena sebab itu dapat berfungsi melawan kerusakan yang disebabkan radikal bebas.

Vitamin C bersifat hidrofilik dan berfungsi paling baik pada lingkungan air sehingga merupakan antioksidan utama dalam plasma terhadap serangan radikal bebas (ROS) dan juga berperan dalam sel.<sup>31</sup>

Ubi ungu mengandung komponen antioksidan yang sangat tinggi yaitu antosianin. Sumber-sumber antioksidan yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dikelompokkan menjadi tiga yaitu (1) antioksidan yang sudah ada di dalam tubuh manusia yang dikenal dengan enzim antioksidan (SOD, GPx, dan CAT), (2) antioksidan sintetis yang banyak digunakan pada produk pangan seperti BHA, BHT, PG, dan TBHQ, dan (3) antioksidan alami yang diperoleh dari bagian bagian tanaman seperti kayu, kulit kayu, akar, daun, buah, bunga, biji, dan serbuk sari, juga dapat diperoleh dari hewan dan mikroba.<sup>32</sup> Jenis antioksidan yang banyak didapatkan dari bahan alami berupa vitamin C dan E, beta karoten, pigmen seperti antosianin dan klorofil, flavonoid, dan polifenol. Antosianin adalah senyawa polifenol alami yang memberi warna pada bunga, buah, dan tanaman. Senyawa antosianin memiliki efek farmakologi sebagai antiinflamasi dan antioksidan. Ubi ungu adalah makanan yang mengandung senyawa antosianin stabil yang cukup tinggi. Antosianin mampu mencegah kerusakan akibat stres oksidatif dan melindungi sel dari radikal bebas. Efek farmakologis antosianin sangat kuat secara *in vitro* dan *in vivo* dapat mengikat radikal superoksida ( $O_2^{\bullet-}$ ), hidroksil ( $OH^{\bullet}$ ), lipid peroxy ( $ROO^{\bullet}$ ).<sup>33</sup>

Pemberian ubi ungu mampu menurunkan kadar *Glial Fibrillary Acidic Protein* (GFAP) (petanda proses peningkatan astrosit di otak), menginduksi *nitric oxide synthase* (iNOS) dan *cyclooxygenase-2* (COX-2), menghambat translokasi nuklear dari *nuclear factor-kappaB* (NF- $\kappa$ B), Meningkatkan aktivitas *Copper/zinc superoxide dismutase* (Cu/Zn-SOD) dan *catalase*

(CAT) dan menurunkan kadar *Malondialdehyde* (MDA).<sup>34</sup> Mekanisme Ubi ungu dalam menetralkan ROS adalah dengan meningkatkan kadar enzim-enzim antioksidan dalam tubuh dan menekan proses peroksidasi lipid.<sup>33</sup> Seseorang yang mengkonsumsi ubi ungu dalam jumlah yang cukup selama 2 minggu dapat menurunkan kadar MDA secara signifikan serta meningkatkan kadar nitrit/nitrat (NOx) plasma.<sup>35</sup>

**Tabel 2.** Kandungan Nutrisi Ubi Jalar .<sup>28</sup>

Jenis	Ubi Jalar Putih	Ubi Jalar Kuning	Ubi Jalar Ungu
Kalori	123 kkal	136 kkal	123 kkal
Karbohidrat	28,79%	24,47%	12,64%
Gula reduksi	0,32%	0,11%	0,30%
Lemak	0,77%	0,68%	0,94%
Protein	0,89%	0,49%	0,77%
Air	62,24%	68,78%	70,46%
Abu	0,93%	0,99%	0,84%
Serat	2,5%	2,79%	3%

## 1.6 Fermentasi Ubi Ungu

Fermentasi diartikan sebagai suatu proses oksidasi dan reduksi yang terjadi pada sistem biologi menghasilkan suatu energi dimana donor dan aseptor elektron yang digunakan adalah senyawa organik. Senyawa organik tersebut akan diubah menjadi sederetan reaksi yang dikatalisis oleh enzim menjadi bentuk lain, contohnya aldehyd, alkohol dan jika dioksidasi lebih lanjut akan terbentuk asam.<sup>36</sup>

Proses fermentasi bahan pangan dapat berlangsung oleh adanya aktivitas beberapa jenis mikroorganisme, seperti bakteri, khamir dan kapang. mikroba yang paling penting yaitu bakteri pembentuk asam laktat, bakteri pembentuk asam asetat dan terdapat beberapa jenis khamir penghasil alkohol. Produk fermentasi yang populer hingga saat ini salah satunya adalah tape.<sup>36</sup>

Tape adalah salah satu makanan tradisional Indonesia yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan pangan berkarbohidrat, seperti singkong dan ketan. Tape bisa dibuat dari singkong atau ubi kayu dan hasilnya dinamakan tape singkong.<sup>12</sup> Pembuatan tape tidak hanya berbahan baku singkong maupun ketan. Tape juga dapat dibuat dari ubi, karena kandungan karbohidrat ubi relatif tinggi.

Pengolahan ubi ungu menjadi tape merupakan salah satu usaha dalam diversifikasi pangan, yaitu sebuah program yang mendorong masyarakat untuk memvariasikan makanan pokok yang dikonsumsinya.<sup>13</sup> Pemerintah Indonesia sendiri mendorong masyarakat untuk mengonsumsi ubi guna mengurangi ketergantungan pada makanan pokok beras yang harganya semakin mahal.<sup>14</sup> Pengolahan ubi ungu menjadi tape juga merupakan usaha untuk meningkatkan daya guna bahan mentah dari ubi ungu.<sup>13</sup> Disamping itu, pengolahan ubi menjadi tape juga terbukti mampu meningkatkan stabilitas dan kemurnian antosianin.<sup>15</sup> Penelitian yang dilakukan pada bebek menunjukkan bahwa bebek yang diberi pakan ubi yang telah difermentasi memiliki kadar MDA plasma yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bebek yang diberi pakan ubi yang tidak difermentasi.<sup>16</sup>

Langkah pembuatan tape ubi ungu meliputi sortasi, pengupasan, pemotongan, pencucian, pengukusan, inokulasi dengan ragi tape dan terakhir pemeraman.<sup>36</sup> Pengukusan ubi ungu yang dilakukan dengan waktu yang terlalu lama mengakibatkan produk akan kehilangan banyak zat gizi yang terkandung didalamnya serta membuat tekstur tape yang terlalu lunak dan terkadang hancur, sebaliknya pengukusan yang terlalu singkat dapat menghasilkan tape yang bertekstur keras dan kurang diminati oleh masyarakat. Selain lama waktu pengukusan, lama fermentasi juga dapat mempengaruhi karakteristik tape ubi ungu yang dihasilkan. Fermentasi yang terlalu lama dapat menghasilkan tape yang memiliki kandungan alkohol yang tinggi dan rasa asam yang kurang disukai masyarakat.<sup>40</sup> Berdasarkan hasil penelitian yang sudah ada, fermentasi ubi menggunakan ragi rape 0,5% dengan lama pengukusan 30 menit dan lama fermentasi 36 jam akan menghasilkan tape ubi ungu dengan karakteristik terbaik.<sup>13,36</sup>