

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Belakang ini terjadi virus yang telah menyebar di seluruh dunia yang menyebabkan sejumlah penyakit. Penyakit yang disebabkan oleh virus yang dikenal dengan *severe acute respiratory syndrome coronavirus-2* (SARS-CoV-2) yang kemudian mengakibatkan penyakit coronavirus 2019 (Covid-19). Akibat dari virus ini dapat menimbulkan penyakit dari yang sedang hingga parah seperti demam, batuk, sesak nafas, dan juga di tahap yang parah virus ini dapat menyebabkan komplikasi jantung akut, gangguan pernafasan hingga dapat mengakibatkan kematian (Iddir *et al.*, 2020).

Adanya virus ini membuat adanya kebijakan mengenai *social distancing* dan memaksakan hampir sebagian orang di dunia untuk tetap berada di rumah atau mengurangi kegiatan keluar rumah. Kebijakan ini akhirnya membuat berbagai perubahan pola hidup salah satunya aktivitas fisik dan kebiasaan berolahraga. Padahal disaat-saat seperti ini rutin berolahraga dapat berperan dalam meningkatkan sistem imunitas tubuh yang nantinya secara tidak langsung dapat meningkatkan pertahanan tubuh terhadap COVID-19. Namun berolahraga di rumah masih memungkinkan untuk tetap menjaga kebugaran dan sudah dilakukan oleh banyak orang seperti *jogging*, bersepeda dan lain-lain. Namun harus dilakukan dengan intensitas dan durasi yang tepat agar efektif dalam meningkatkan daya tahan tubuh dan imunitas tubuh kita. Jika olahraga dilakukan dengan durasi dan intensitas yang tinggi serta berlebihan maka dapat membuat imunitas tubuh kita menjadi menurun (Dominski & Brandt, 2020). Selain itu berolahraga secara berlebihan dapat memicu terjadinya stres oksidatif (Tiksnadi *et al.*, 2020). Aktivitas fisik yang berlebihan dapat meningkatkan radikal bebas atau *reactive oxygen species* (ROS) sehingga jika antioksidan dan prooksidan dalam tubuh didalam tubuh tidak seimbang maka stres oksidatif dapat terjadi (Wibawa *et al.*, 2020). Dalam melawan radikal bebas didalam tubuh perlu adanya antioksidan. Antioksidan dapat berasal dari dalam maupun luar tubuh. Antioksidan yang berasal dari luar tubuh dapat berasal dari bahan pangan salah satunya dari buah-buahan. Salah satu contoh antioksidan yang penting dan dapat ditemukan di bahan pangan adalah vitamin C. Dalam perannya sebagai antioksidan dalam melawan radikal bebas salah satunya yaitu *reactive oxygen species* (ROS), vitamin C dapat berperan sebagai pendonor elektron dan reduktor sehingga dapat menyeimbangkan prooksidan

yang ada pada tubuh sehingga dapat mencegah terjadinya stres oksidatif. Kesadaran akan mengonsumsi bahan pangan yang mempunyai kandungan berbagai vitamin khususnya vitamin C yang cukup tinggi itu sangat penting, karena dapat mencukupi kebutuhan antioksidan sehingga tubuh dapat terhindar dari bahaya yang dapat menimbulkan berbagai penyakit akibat stres oksidatif. Potensi antioksidan dalam pengendalian stres oksidatif cukup besar salah satunya menggunakan vitamin C. Vitamin C cukup mudah ditemui di berbagai bahan pangan khususnya bahan pangan seperti buah-buahan. Di Indonesia, buah-buahan cukup mudah ditemukan karena iklim di Indonesia yang tropis sehingga sangat mudah untuk menumbuhkan tumbuhan seperti buah-buahan (Putri & Setiawati, 2017). Contoh buah-buahan yang banyak mengandung vitamin C dan banyak ditemukan di Indonesia contohnya buah naga, jambu biji, jeruk, dan masih banyak lagi. Berikut beberapa review yang sudah ada sebelumnya mengenai peran antioksidan dalam mengendalikan stres oksidatif yang terjadi setelah melakukan aktivitas fisik.

Tabel 1. Review terkait peran antioksidan dalam mengendalikan stres oksidatif setelah melakukan aktivitas fisik

No	Jenis antioksidan	Jenis aktivitas fisik	Manfaat	Sumber
1	Antioksidan eksogen (suplemen quercetin, resveratrol, kurkumin)	<i>treadmill</i>	Melindungi tubuh dari stres oksidatif	(Simioni <i>et al.</i> , 2018)
2	Antioksidan eksogen (suplemen vitamin C)	<i>treadmill</i>	Mengurangi stres oksidatif (peroksidasi lipid) dan respon inflamasi	(Righi <i>et al.</i> , 2020)
3	Antioksidan eksogen (suplemen vitamin C)	<i>treadmill</i> , <i>ergocycle</i>	Kadar <i>malondialdehyde</i> (MDA) menurun	(Wibawa <i>et al.</i> , 2020)
4	Antioksidan eksogen (suplemen vitamin C)	<i>treadmill</i>	Mengurangi stres oksidatif	(Braakhuis, 2012)

Pada tabel 1. dapat dilihat jurnal *review* yang dihasilkan oleh beberapa peneliti yang sejalan dengan topik *review* penulis. Pada hasil *review* diatas dapat diketahui bahwa dengan pemberian antioksidan tambahan seperti vitamin C, *quercetin*, *resveratrol*, dan *curcumin* dapat bermanfaat dalam mengurangi stres oksidatif yang dihasilkan setelah melakukan aktivitas fisik berupa lari, *treadmill*, dan *ergocycle*. Selain itu dapat melindungi tubuh dari stres oksidatif yang dapat dilihat dari penurunan kadar MDA (peroksidasi lipid) seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 diatas. Pemilihan topik mengenai kandungan antioksidan vitamin C dalam bahan pangan yang mudah ditemukan disekitar kita dan dapat digunakan untuk mengendalikan stres oksidatif akibat aktivitas fisik menjadi topik yang menarik untuk dipelajari dan diteliti lebih lanjut. Review mengenai vitamin C dalam pengendalian stres oksidatif setelah melakukan aktivitas fisik sudah ada namun belum terlalu banyak yang membahas mengenai bahan pangan apa saja yang mempunyai kandungan vitamin C yang dapat mengendalikan stres oksidatif setelah melakukan aktivitas fisik. Berbagai review mengenai vitamin C yang telah ada, sebagian besar review tersebut membahas mengenai suplemen antioksidan khususnya suplemen vitamin C dan fungsinya dalam mengendalikan stres oksidatif setelah aktivitas fisik. Namun belum ada yang membahas sampai efektivitas bahan pangan dalam membantu mengendalikan stres oksidatif. Vitamin C dalam bahan pangan pada buah-buahan memiliki potensi yang cukup besar karena perannya sebagai antioksidan sehingga menarik dan berpotensi untuk di review.

1.2 Dasar Teori

1.2.1 Aktivitas Fisik

Aktivitas fisik adalah gerakan tubuh yang dilakukan oleh otot rangka dan membutuhkan energi untuk dikeluarkan, salah satu contohnya yaitu aktivitas fisik aerobik (Karim *et al.*, 2018). Aktivitas fisik dapat dibedakan menjadi 3 yaitu olahraga, latihan fisik, dan aktivitas fisik harian. Olahraga merupakan aktivitas fisik yang terencana dan terstruktur sesuai dengan aturan dan tujuan yaitu membuat lebih bugar dan mendapatkan prestasi. Contohnya adalah basket, sepak bola, renang, bulu tangkis dan lain-lain. Latihan fisik adalah aktivitas fisik yang dilakukan secara terencana dan terstruktur, contohnya seperti senam aerobik, jalan kaki, bersepeda, *push up*, *jogging*, peregangan dan lainnya. Sedangkan aktivitas fisik harian adalah aktivitas fisik yang dilakukan dalam

kehidupan sehari-hari, seperti mengepel, berkebun, mencuci baju, menyetrika, bermain, dan lain-lain (Santoso, 2019).

Berdasarkan intensitasnya, aktivitas fisik dapat dibedakan menjadi 3 yaitu aktivitas fisik ringan sedang, dan berat. Aktivitas fisik berat merupakan aktivitas yang dilakukan terus-menerus selama minimal 10 menit hingga napas dan denyut nadi meningkat dari biasanya. Aktivitas fisik sedang adalah aktivitas yang dilakukan minimal 150 menit dalam seminggu dan dalam jangka waktu 5 hari dalam seminggu. Selain kriteria antara aktivitas fisik berat dan sedang maka termasuk aktivitas fisik ringan (Santoso, 2019). Contoh aktivitas fisik berat adalah berlari, *jogging*, bersepeda roda dengan kecepatan tinggi, karate, *pull up*, *push up*, bersepeda dengan kecepatan tinggi (lebih dari 10 mph) atau pada tanjakan yang curam, panjat tebing, mendaki gunung, berjalan dengan kecepatan tinggi (lebih dari 8 km/jam) dan lain-lain. Sedangkan contoh aktivitas fisik sedang adalah berjalan saat di kelas, kantor, toko atau rekreasi, berjalan menuruni bukit atau tangga, yoga, bersepeda dengan kecepatan sedang (5-9 km mph) pada jalanan datar atau sedikit tanjakan, berjalan dengan kecepatan 4,8-7,2 km/jam dan lain-lain (Santoso, 2019).

Berdasarkan proses biokimia dalam terbentuknya energi, aktivitas fisik dapat dibedakan menjadi 2 yaitu aktivitas fisik aerobik dan aktivitas fisik anaerobik (Harahap *et al.*, 2017). Aktivitas fisik aerobik adalah aktivitas yang menggunakan ketersediaan oksigen dalam membantu membentuk *Adenosin Tri Phospat* (ATP) yang akan digunakan untuk sumber energi (Harahap *et al.*, 2017). Sedangkan aktivitas fisik anaerobik adalah aktivitas fisik yang tidak menggunakan oksigen dalam proses metabolisme pembentukan energi dan energi akan dihasilkan saat pembentukan *Adenosin Tri Phospat* (ATP) melalui sumber energi lainnya yang berasal dari glikogen dan kreatin fosfat (Husin, 2016). Aktivitas fisik baik aerobik maupun anaerobik dari intensitas ringan hingga berat dapat menjadi penyebab meningkatnya kebutuhan oksigen untuk memenuhi kebutuhan otot saat melakukan aktivitas fisik. Aktivitas fisik yang dilakukan secara maksimal dapat menjadi salah satu penyebab ketidakseimbangan produksi antioksidan dan radikal bebas atau biasa disebut stres oksidatif (Rusiani *et al.*, 2019). Saat melakukan aktivitas fisik seperti olahraga atau aktivitas fisik lainnya dengan intensitas yang tinggi atau berat maka oksigen didalam tubuh akan meningkat 10-20 kali lipat karena digunakan oleh otot yang berkontraksi saat olahraga sehingga akan terjadi peningkatan *respiratory electron transport* pada mitokondria yang menghasilkan ROS (Rusiani *et*

al., 2019). Pada dasarnya *reactive oxygen species* (ROS) selalu dihasilkan selama fungsi seluler normal dan itu merupakan bagian dari proses fisiologis alami dari semua makhluk hidup (Rusiani *et al.*, 2019).

1.2.2 Radikal Bebas dan Antioksidan

Radikal bebas adalah molekul yang mempunyai satu atau lebih elektron yang tidak mempunyai pasangan di orbit terluarnya sehingga menyebabkan radikal bebas mempunyai sifat yang reaktif dan tidak stabil (Fauzi, 2018). Untuk menstabilkan, radikal bebas akan bereaksi atau mencari pasangan elektron dengan senyawa lain. Dalam proses metabolisme, sel secara rutin akan menghasilkan radikal bebas dan kelompok oksigen reaktif lainnya di dalam tubuh. Pada keadaan normal, radikal bebas yang terbentuk dapat dilawan oleh sistem antioksidan yang ada di dalam tubuh (Fauzi, 2018). Jika jumlah radikal bebas atau jumlah *reactive oxygen species* (ROS) didalam tubuh lebih banyak dan melebihi jumlah antioksidan didalam tubuh maka akan terjadi stres oksidatif (Ragheb *et al.*, 2019). Salah satu contoh radikal bebas yang cukup dikenal yaitu *reactive oxygen species* (ROS). Radikal bebas yang tergolong pada kelompok *reactive oxygen species* (ROS) yaitu radikal hidroksil, oksigen tunggal, radikal superoksida, dan radikal hidroksil peroksida (Sinaga, 2016). Stres oksidatif dapat menimbulkan berbagai macam penyakit degeneratif seperti diabetes, anemia, aterosklerosis penyebab dari gagal jantung atau jantung koroner (Sandhiutami, 2017). Radikal bebas dapat dihasilkan salah satunya dengan beraktivitas fisik. Semakin tinggi intensitas yang dilakukan maka semakin tinggi kebutuhan energi yang diperlukan tubuh. Setelah beraktivitas fisik tubuh akan membutuhkan oksigen hingga 20 kali lipat lebih dari keadaan normal, sejumlah oksigen akan dikonsumsi dan akan berubah menjadi energi berupa *Adenosin Tri Phospat* (ATP) dan air pada proses fosforilasi oksidatif. Namun tidak semua oksigen yang digunakan tereduksi secara sempurna, sebagian oksigen yang digunakan akan bereaksi dengan elektron tunggal yang bocor pada rantai respirasi dan menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas yang dihasilkan salah satunya adalah *reactive oxygen species* (ROS) yang dapat bereaksi dengan senyawa lemak dalam membran sel kemudian terjadi reaksi peroksidasi lipid dan akan menghasilkan *malondialdehyde* (MDA) (Dewi *et al.*, 2017).

Sedangkan antioksidan merupakan senyawa yang mempunyai fungsi menghambat reaksi oksidasi dengan cara mengikat radikal bebas dan senyawa atau molekul yang reaktif (Sandhiutami, 2017). Pada dasarnya tubuh mempunyai sistem pertahanan yang berupa antioksidan. Antioksidan dapat

melawan efek dari radikal bebas karena antioksidan dapat menghambat reaksi oksidasi sehingga dapat menghentikan reaksi yang ditimbulkan oleh radikal bebas (Sandhiutami, 2017). Berdasarkan asalnya antioksidan dibagi menjadi 2 yaitu antioksidan endogen dan antioksidan eksogen. Antioksidan yang dapat diproduksi didalam tubuh disebut antioksidan endogen. Sedangkan antioksidan eksogen merupakan antioksidan yang berasal dari luar tubuh seperti *curcumin*, *resveratrol*, *quercetin*, vitamin A, vitamin K, vitamin E, dan vitamin C (asam askorbat) yang dapat ditemukan pada sayur-sayuran hijau dan buah-buahan (Ragheb *et al.*, 2019). Jika berdasarkan cara kerjanya antioksidan dibagi menjadi dua yaitu antioksidan primer dan antioksidan sekunder. Antioksidan primer merupakan antioksidan yang bekerja dengan cara memecah rantai reaksi yang menyebabkan kereaktifan radikal bebas berkurang. Contoh antioksidan primer seperti *catalase* (CAT), *superoxide dismutase* (SOD), *glutathione peroxidase* (GSH-Px) (Andarina & Djauhari, 2017). Antioksidan sekunder yaitu antioksidan yang bekerja dengan cara mencegah terjadinya reaksi berantai dari radikal bebas, menstabilkan radikal bebas, dan mengikat logam yang bekerja sebagai prooksidan. Antioksidan yang termasuk antioksidan sekunder yaitu vitamin E, beta-karoten, vitamin C, albumin, bilirubin (Andarina & Djauhari, 2017).

Antioksidan endogen dibagi menjadi 2 yaitu non enzimatis yang contohnya seperti *glutathione*, *thioredoxin*, *ubiquinone*, *uric acid*, *lipoic acid*, dan bilirubin jenis antioksidan endogen yang kedua yaitu enzimatis, misalnya seperti *superoxide dismutase* (SOD), *glutathione peroxidase* (GSH-Px), dan *catalase* (CAT) (Ragheb *et al.*, 2019). Antioksidan non enzimatis dan enzimatis nantinya akan bekerja sama dalam melawan radikal bebas. Pada dasarnya dalam melawan radikal bebas, antioksidan bekerja dengan cara menerima elektron yang tidak stabil agar menjadi stabil dan reaksi rantai dapat berhenti atau dengan memberikan satu elektron bebas pada radikal bebas (Andarina & Djauhari, 2017). Antioksidan yang memberikan elektronnya pada radikal bebas akan berubah menjadi antioksidan radikal. Namun antioksidan tersebut mempunyai sifat radikal yang paling tidak reaktif karena dapat distabilkan oleh antioksidan lain dengan cara bekerja sama atau disebut antioksidan *network* (Andarina & Djauhari, 2017). Antioksidan yang termasuk ke dalam antioksidan *network* yaitu ubiquinon, asam lipoleat, vitamin C, vitamin E dan *glutathione*. Dalam perannya sebagai antioksidan, *glutathione* dapat menetralkan hidroksil dengan cara memberikan atom hidrogen. Kemudian *glutathione* akan mengalami oksidasi namun dapat diubah kembali

menjadi glutathion reduktase. Glutathion juga mempunyai peran dalam mencegah terjadinya proses oksidasi pada vitamin C dan vitamin E. Vitamin C dan ubiquinon (CoQ10) dapat membantu vitamin E yang mengalami oksidasi dengan radikal bebas kembali menjadi vitamin E antioksidan dengan cara memberikan elektronnya. Kemudian glutathion dan vitamin C yang teroksidasi dapat dinetralkan oleh bantuan vitamin C (Andarina & Djauhari, 2017).

Enzim *superoxide dismutase* (SOD) dapat berperan dalam mencegah penimbunan superoksida dengan cara memutus reaksi berantai dan diubah menjadi produk yang sifatnya lebih stabil yaitu O_2^- menjadi H_2O_2 sehingga mengurangi pembentukan radikal bebas (Suci, 2017). Sedangkan enzim *catalase* (CAT) dan *glutathione peroksidase* (GSH-Px) dapat mencegah penimbunan H_2O_2 dengan cara menguraikan H_2O_2 menjadi $H_2O + O_2$. Kemudian dengan diurainya H_2O_2 maka radikal hidroksil yang terbentuk dapat dicegah sehingga jumlah lipid peroksidasi akan semakin menurun dan peradangan atau kerusakan jaringan juga dapat dicegah. Kinerja dari *superoxide dismutase* (SOD), *glutathione peroksidase* (GSH-Px), dan *catalase* (CAT) dapat distimulasi oleh likopen yang dapat didapatkan dari buah-buahan (Sinaga *et al.*, 2017). Selain itu vitamin C dan betakaroten juga dapat bekerja mendonorkan elektron pada radikal bebas untuk menghentikan sifat reaktifnya sehingga kadar antioksidan endogen seperti *superoxide dismutase* (SOD) dan *glutathione peroksidase* (GSH-Px) dapat meningkat. Sedangkan *catalase* (CAT) berperan dalam menetralkan senyawa radikal bebas kemudian melarutkan dan dikeluarkan melalui sistem sekresi pada tubuh (Suci, 2017).

Ketika jumlah radikal bebas meningkat maka tubuh akan merespon dengan memproduksi antioksidan yang ada di dalam tubuh atau biasa disebut antioksidan endogen seperti *superoxide dismutase* (SOD), *glutathione peroksidase* (GSH-Px), dan *catalase* (CAT) untuk menetralkan radikal bebas. Namun jika jumlah radikal bebas mempunyai jumlah yang berlebih maka dibutuhkan antioksidan tambahan yang berasal dari luar seperti vitamin C (Fauzi, 2018). Jika di dalam tubuh terbentuk radikal bebas lebih dari 5% maka antioksidan di dalam tubuh tidak dapat menetralkan produksi radikal bebas sehingga menyebabkan stres oksidatif. Hal ini dapat terjadi karena jumlah antioksidan yang menurun setelah beraktivitas fisik (Sinaga *et al.*, 2017). Secara keseluruhan, pembentukan radikal bebas melalui beberapa tahapan reaksi, yang pertama yaitu tahapan inisiasi yaitu tahapan membentuk radikal bebas. Kemudian tahapan kedua yaitu tahapan

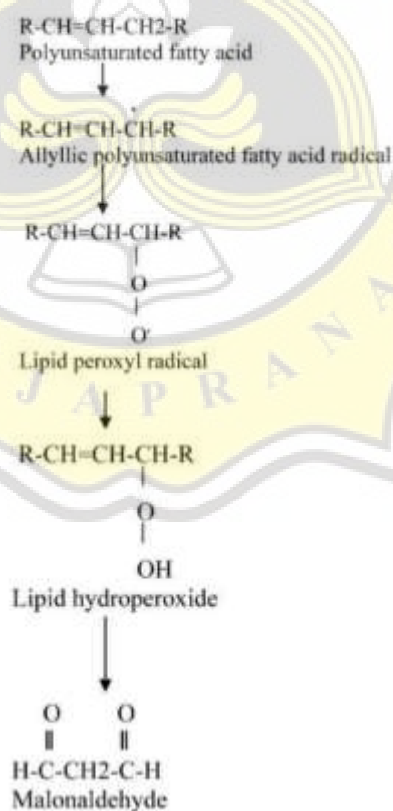
propagasi yang merupakan pemanjangan rantai radikal dan tahapan terakhir adalah tahapan terminasi yang merupakan tahapan senyawa radikal bereaksi dengan radikal lain (Fauzi, 2018).

1.2.3 Biomarker Stres Oksidatif

1.2.3.1 Peroksidasi Lipid dan Malondialdehid (MDA)

Di dalam membran sel terdapat unsur utama yaitu asam lemak tidak jenuh ganda (PUFA= *polyunsaturated fatty acid*) dan dapat terjadi peroksidasi lipid ketika bereaksi dengan radikal bebas. Proses peroksidasi lipid dimulai dengan penarikan elektron pada atom hidrogen dari ikatan rangkap asam lemak tidak jenuh kemudian membentuk radikal lipid. Kemudian jika terdapat penambahan oksigen di dalam proses tersebut maka akan terbentuk radikal peroksil lipid dan menarik atom hidrogen dari ikatan rangkap PUFA (*polyunsaturated fatty acid*) lainnya yang menyebabkan terbentuknya radikal lipid. Radikal peroksil lipid akan mengalami dekomposisi dan berubah menjadi peroksida lipid yang sifatnya tidak stabil dan akan menghasilkan senyawa-senyawa, salah satunya adalah *malondialdehyde* (MDA) (Fauzi, 2018).

Tahapan peroksidasi lipid menurut (Sinaga, 2016) sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan peroksidasi lipid

Malondialdehyde (MDA) merupakan salah satu produk akhir peroksidasi lipid di dalam tubuh yang dihasilkan selama melakukan aktivitas fisik atau latihan daya tahan. Senyawa ini mempunyai tiga rantai karbon dan mempunyai rumus molekul $C_3H_4O_2$ (Husin, 2016). Peningkatan konsentrasi *malondialdehyde* (MDA) menunjukkan terjadinya proses oksidasi di dalam membran sel (Fauzi, 2018). *Malondialdehyde* (MDA) yang dihasilkan akan terlepas ke darah sehingga kadar *malondialdehyde* (MDA) pada darah dapat menjadi indikator dalam mendeteksi terjadinya stres oksidatif (Husin, 2016).

1.2.3.2 Leukosit, Hemoglobin, dan VO_2max

Beraktivitas fisik secara umum dapat mempengaruhi beberapa sistem yang terjadi di dalam tubuh salah satunya yaitu sistem hematologi. Pada sistem ini terdiri atas darah dan tempat darah dihasilkan. Darah dapat terbagi menjadi 3 elemen seluler khusus, yaitu leukosit (sel darah putih), eritrosit (sel darah merah) dan trombosit (keping darah). Leukosit adalah sel pertahanan tubuh yang memiliki beberapa jenis leukosit serta mempunyai fungsi dan strukturnya masing-masing. Jenis-jenis leukosit diantaranya yaitu monosit, limfosit, basofil, neutrofil, dan monosit. Pada umumnya leukosit di dalam tubuh normal mempunyai jumlah rata-rata $4.000-11.000 \text{ sel/mm}^3$. Dapat terjadi leukopenia apabila jumlah leukosit kurang dari 4.000 sel/mm^3 dan dapat terjadi leukositosis apabila jumlah leukosit lebih dari 11.000 sel/mm^3 (Harahap *et al.*, 2017). Peningkatan jumlah leukosit dapat disebabkan salah satunya oleh radikal bebas yang dapat dihasilkan setelah beraktivitas fisik. Pada saat beraktivitas fisik, konsumsi oksigen akan meningkat dan akan terjadi reaksi yang kompleks di dalam tubuh kemudian akan menghasilkan produk sampingan berupa radikal bebas dan dapat merusak jaringan. Rusaknya jaringan ini dapat membuat leukosit berdiapedesis ke jaringan yang rusak karena radikal bebas dan memfagositosis jaringan rusak tersebut sehingga nantinya membuat mobilisasi leukosit akan meningkat dan jumlah leukosit di dalam darah akan meningkat (Harahap *et al.*, 2017). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Atan & Alacam (2015) terdapat peningkatan jumlah leukosit sesaat setelah melakukan aktivitas fisik aerobik dan anaerobik. Sedangkan pada eritrosit mengandung hemoglobin yang mempunyai peran dalam mengedarkan oksigen (Wahyuni *et al.*, 2016). Eritrosit dapat mengalami kerusakan salah satunya karena stres oksidatif yang dapat dihasilkan saat beraktivitas fisik. Eritrosit akan mudah mengalami hemolisis saat terjadi proses peroksidasi lipid pada membran sel.

Hemolisis pada eritrosit akan membuat hemoglobin terbebas dan akan membuat kadar hemoglobin pada eritrosit mengalami penurunan yang jika terjadi terus menerus dapat menyebabkan anemia atau biasa disebut *sport anemia* (Saputro & Junaidi, 2015). Kemudian penurunan hemoglobin tersebut diikuti penurunan VO_2max . VO_2max merupakan kemampuan maksimal seseorang dalam mengonsumsi oksigen saat beraktivitas fisik hingga terjadi kelelahan (Sinaga, 2017). VO_2max dapat berperan sebagai indikator dari kebugaran paru-paru dan jantung serta kesehatan kardiovaskular karena VO_2max dapat membatasi kapasitas kardiovaskuler seseorang (Sinaga, 2017). Terjadinya stres oksidatif setelah beraktivitas fisik dapat membuat kelelahan karena radikal bebas dapat mempengaruhi jalur energi aerobik pada mitokondria. Jika kadar VO_2max menurun maka kapasitas transport oksigen di dalam darah dapat menurun yang kemudian dapat mempengaruhi tingkat kebugaran atau *performance* seseorang yang melakukan aktivitas fisik tersebut (Sinaga, 2017).

1.2.4 Vitamin C sebagai antioksidan

Vitamin C atau asam askorbat adalah salah satu antioksidan yang mempunyai sifat larut dalam air (Gordon *et al.*, 2020). Vitamin C mempunyai dua bentuk yaitu L-asam askorbat (vitamin C dalam bentuk tereduksi) dan L-asam dehidro (vitamin C ketika teroksidasi). Dua bentuk ini merupakan bentuk vitamin C yang aktif namun bentuk yang tereduksi adalah bentuk yang paling aktif (Fauzi, 2018). Dalam fungsinya sebagai antioksidan, vitamin C berperan sebagai pendonor elektron saat terjadi oksidasi. Vitamin C dapat mengurangi agen pengoksidasi dan menetralkan radikal bebas sehingga dapat melindungi protein, lipid, DNA dari kerusakan akibat radikal bebas (Liu *et al.*, 2019). Saat melawan radikal bebas, vitamin C akan mengubah radikal bebas menjadi radikal askorbil kemudian akan berubah menjadi askorbat dan dehidroaskorbat (Fauzi, 2018). Vitamin C dapat berfungsi untuk bereaksi melawan (*scavenging*) superoksida, hidroksil, radikal hidroperoksida lipid, dan juga secara tidak langsung berperan penting dalam *recycling* vitamin E (Popovic *et al.*, 2015). Aktivitas antioksidan pada vitamin C dapat diketahui dengan nilai *Inhibitory concentration 50%* (IC_{50}). *Inhibitory concentration 50%* (IC_{50}) merupakan konsentrasi suatu senyawa dalam menghambat 50 % aktivitas oksidasi radikal. Semakin tinggi aktivitas antioksidan suatu senyawa maka nilai IC_{50} akan semakin rendah. Secara umum, nilai (IC_{50}) dikatakan sangat kuat apabila nilainya <50 ppm, dikategorikan kuat apabila nilai (IC_{50}) berkisar 50 - 200 ppm, dan apabila nilai (IC_{50}) melebihi 200 ppm maka dapat dikategorikan antioksidan

lemah atau aktivitas antioksidannya kurang baik (Widianingsih, 2017). Pada jurnal Lung *et al.* (2017) menunjukkan aktivitas antioksidan pada vitamin C sebesar 14,79 ppm. Sehingga dapat dikategorikan vitamin C merupakan antioksidan sangat kuat. Jika dibandingkan dengan vitamin E dan vitamin A. Vitamin C mempunyai nilai (IC_{50}) yang paling rendah dan dikategorikan sebagai antioksidan sangat kuat. Hal ini dapat terjadi karena vitamin C merupakan senyawa polar yang mempunyai 4 gugus hidroksil sedangkan vitamin A tidak mempunyai gugus hidroksil dan pada vitamin E hanya mempunyai 1 gugus hidroksil, sehingga aktivitas antioksidan pada vitamin C lebih kuat (Lung *et al.*, 2017).

Asam askorbat mempunyai peran dalam mencegah kerusakan akibat radikal bebas dan terlibat dalam regenerasi antioksidan lain dalam tubuh, contohnya vitamin E (Al-hosseini, 2020). Vitamin C merupakan antioksidan yang dapat ditemukan secara alami pada makanan khususnya pada buah - buahan. Didalam tubuh manusia, vitamin C tidak dapat diproduksi sehingga dibutuhkan dari bahan pangan untuk mencukupi kebutuhan vitamin C (Al-hosseini, 2020). Berhubungan dengan fungsi vitamin C yang dapat meregenerasi vitamin E, hal ini dapat terjadi karena vitamin C dapat menghambat dan menghentikan reaksi oksidasi pada vitamin E yang berubah menjadi vitamin E radikal saat setelah bereaksi dengan radikal bebas. Setelah berhasil dihambat dengan cara memutuskan reaksi radikal bebas pada vitamin E radikal menjadi vitamin E bebas, vitamin E dapat berfungsi sebagai antioksidan kembali yang dibantu oleh vitamin C (Rusiani *et al.*, 2019). Menurut tabel angka kecukupan gizi (AKG) tahun 2019, takaran yang dianjurkan untuk mengonsumsi vitamin C beragam, mulai dari anak - anak umur 0-9 tahun maksimal mengonsumsi vitamin C 40-50 mg/hari, wanita umur 10 - 49 tahun dianjurkan mengonsumsi sebanyak 50 - 75 mg/hari, sedangkan laki-laki umur 10 - 49 tahun dianjurkan mengonsumsi sebanyak 50 - 90 mg/hari. Sebagai antioksidan, jika vitamin C diberikan dalam takaran dosis yang tepat dapat memberi efek yang baik dalam menghambat radikal bebas (Yimcharoen *et al.*, 2019).

1.2.5 Bahan Pangan yang mengandung vitamin C

Bahan pangan yang mengandung vitamin C salah satunya berasal dari buah-buahan. Untuk memilih buah yang mengandung vitamin C agar dapat dipakai dalam review jurnal ini maka ada beberapa kriteria sebagai dasar pemilihan jurnal sehingga memberi kemudahan nantinya untuk mereview. Kriteria dari pemilihan bahan pangan yaitu dipilih berdasar tingginya produktivitas

bahan pangan di Indonesia. Berikut beberapa bahan pangan buah banyak dihasilkan di Indonesia. Data dari BPS pada tahun 2018 menyatakan daftar buah yang mempunyai produktivitas yang tinggi di Indonesia. Berikut merupakan jumlah produktivitas bahan pangan buah-buahan di Indonesia pada tahun 2018.

Tabel 2. Produksi Tanaman Buah-buahan Tahunan Tahun 2018

No	Bahan Pangan Buah-buahan	Produksi (ton)
1	Pisang / <i>Banana</i>	7.264.383
2	Mangga / <i>Mango</i>	2.624.791
3	Jeruk Siam/Kepron / <i>Orange/Tangerine</i>	2.408.043
4	Nanas / <i>Pineapple</i>	1.805.506
5	Durian / <i>Durian</i>	1.142.102
6	Salak / <i>Salacca</i>	896.504
7	Pepaya / <i>Papaya</i>	887.591
8	Nangka/Cempedak / <i>Jackfruit</i>	775.480
9	Rambutan / <i>Rambutan</i>	715.935
10	Apel/ <i>Apple</i>	481.651
11	Alpukat / <i>Avocado</i>	410.094
12	Duku/Langsap / <i>Duku</i>	236.754
13	Jambu Biji / <i>Guava</i>	230.697
14	Manggis / <i>Mangosteen</i>	228.155
15	Sawo / <i>Sapodilla/Star Apple</i>	144.109
16	Sukun / <i>Breadfruit</i>	124.287
17	Jambu Air / <i>Rose Apple</i>	111.803
18	Jeruk Besar / <i>Pomelo</i>	102.399
19	Belimbing / <i>Star Fruit</i>	101.553
20	Sirsak / <i>Soursop</i>	68.497
21	Markisa / <i>Marquisa</i>	59.270
22	Buah naga/ <i>Dragon fruit</i>	35.678
23	Anggur / <i>Grape</i>	10.867

Sumber : BPS (2019)

Dari tabel 2. menunjukkan produksi tanaman buah-buahan terbanyak di Indonesia. Buah pisang merupakan buah yang mempunyai produktivitas paling tinggi di Indonesia kemudian diikuti oleh buah mangga, jeruk siam, nanas dan pada urutan terakhir terdapat buah anggur yang mempunyai produktivitas paling rendah. Dari tabel-tabel ini nantinya diseleksi kembali berdasarkan kandungan vitamin C pada masing-masing buah. Selain itu pemilihan buah yang dipakai dalam

review ini berdasarkan kemudahan mencari jurnal acuan sebagai bahan *review*. Berikut daftar buah-buahan yang terpilih.

Tabel 3. Tabel Seleksi Buah yang Terpilih

No	Bahan Pangan	Vitamin C (mg) per 100 gr
1	Jeruk	59,1
2	Jambu Biji	228
3	Buah naga	6,4

Sumber: USDA (2019)

Pada tabel 3. dapat diketahui beberapa buah yang mempunyai kandungan vitamin C cukup tinggi. Buah jambu mempunyai kandungan vitamin C paling tinggi yaitu sebesar 228 mg/100 gram kemudian buah jeruk mengandung 59,1 gram/100 gram vitamin C, dan buah naga mengandung 6,4 mg/100 gram vitamin C. Beberapa buah pada tabel diatas yang mempunyai kandungan vitamin C yang cukup tinggi sehingga dapat dijadikan acuan dan potensi suatu bahan pangan untuk melawan radikal bebas. Kemudian akan dibahas lebih lanjut lebih detail bagaimana bahan pangan buah-buahan tersebut dapat mengendalikan stres oksidatif yang ditimbulkan setelah melakukan aktivitas fisik. Aktivitas antioksidan pada setiap buah juga dapat dilihat dari nilai IC_{50} . Semakin rendah nilai IC_{50} maka semakin tinggi aktivitas antioksidan pada buah tersebut dalam menangkal radikal bebas (Lung, 2017). Berikut beberapa informasi tambahan mengenai buah-buahan yang dipakai dalam *review* penelitian, sebagai berikut

1.2.5.1 Jambu biji merah (*Psidium guajava*)

Kandungan-kandungan di dalam jambu biji merah mempunyai peran penting dalam melawan radikal bebas seperti vitamin C. Selain vitamin C juga terdapat vitamin A sebanyak 624 IU, vitamin E sebanyak 0,73 mg/100 gr, kalsium sebanyak 18 mg/100 gr, besi sebanyak 0,26 mg/100 gr, fosfor sebanyak 40 mg/100 gr dan beta-karoten sebanyak 374 μ g/100 gr (USDA,2019). Di dalam jambu biji merah terdapat beta-karoten yang dapat bekerja sinergis dengan vitamin C dan E serta dapat menangkap radikal bebas khususnya radikal peroksil dan hidroksil. Sedangkan likopen pada buah jambu biji merah dapat menstimulasi kerja enzim antioksidan seperti *superoxide dismutase* (SOD), *glutathione peroksidase* (GSH-Px), dan *catalase* (CAT) (Sinaga *et al.*, 2017). Buah jambu biji merah mempunyai aktivitas antioksidan yang sangat kuat karena

aktivitas antioksidan di dalam buah jambu biji merah yang dinyatakan dalam nilai IC_{50} sebesar 45,5 $\mu\text{g/mL}$ (Sinaga *et al.*, 2018).

1.2.5.2 Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*)

Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) mengandung senyawa kimia seperti vitamin C. Selain itu di dalam buah naga juga mengandung vitamin A sebesar 59 IU, kalsium sebesar 107 mg/100 gr, dan sodium sebesar 39 mg/100 gr (*Nutrition value*, 2021). Senyawa-senyawa ini dapat menangkap radikal bebas karena perannya sebagai antioksidan. Pada buah naga mengandung vitamin C sebesar 6,4 mg/100 gr (USDA, 2019). Aktivitas antioksidan pada buah naga merah yang dilihat pada nilai IC_{50} sebesar 67,45 ppm, sehingga dapat dikategorikan buah naga merah mempunyai aktivitas antioksidan kuat (Widianingsih, 2017).

1.2.5.3 Jeruk (*Citrus*)

Pada jeruk terdapat kandungan vitamin C sebanyak 59,1 mg/100 gr, vitamin E sebesar 0,04 mg/100 gr, *calcium* (Ca) sebesar 43 mg/100 gr, magnesium (Mg) sebesar 10,7 mg/100 gr (USDA, 2019). Karena kandungan berbagai antioksidan terdapat di dalam jeruk, maka jeruk sendiri mempunyai aktivitas antioksidan dengan nilai IC_{50} sebesar 71,34 ppm sehingga dapat digolongkan bahwa buah jeruk mempunyai aktivitas antioksidan yang kuat (Puspitasari *et al.*, 2019).

Didalam buah-buah terdapat berbagai kandungan antioksidan, tidak hanya vitamin C. Contohnya seperti beta karoten, vitamin E, betacyanin, likopen. Kandungan beta karoten terdapat pada buah jambu biji merah. Beta karoten merupakan karotenoid dengan nilai vitamin A yang paling tinggi. Dalam perannya sebagai antoksidan, beta-karoten bekerja dengan cara *radical scavenging* (Dewi *et al.*, 2017). Beta karoten mempunyai sifat tidak dapat larut di dalam air (hidrofobik) sehingga mempunyai peran dalam proses peroksidasi membran sel seperti vitamin E. Dalam melawan radikal bebas, beta-karoten bekerja dengan memecah singlet oksigen yang bersifat reaktif dalam keadaan aerob dibandingkan dengan triplet oksigen (Dewi *et al.*, 2017). Beta karoten dapat menangkal singlet oxygen (O_2) dan dapat mengimbangi produksi radikal peroksida (Zaki, 2015). Selain beta karoten, di dalam buah-buahan juga terdapat kandungan vitamin E. Selain tersedia dalam bentuk suplemen, vitamin E juga terdapat pada buah-buahan seperti jambu biji merah dan jeruk. Vitamin E mempunyai peran dalam mecegah peroksidasi lipid yaitu dengan cara

mendonorkan elektron dan atom hidrogen agar radikal bebas seperti anion superoksida (O_2^-) atau hidroksil (OH^*) lebih stabil (Ma'arif *et al.*, 2020). Tokoferol dan tokotrienol yang berperan dalam menetralkan radikal bebas. Vitamin E akan mengubah radikal peroksil yang dihasilkan dari proses peroksidasi lipid menjadi radikal tokoferol yang sifatnya kurang reaktif (Sinaga, 2017). Selain itu vitamin E dapat menetralkan radikal bebas dengan mengubahnya menjadi *hydroperoxide* sehingga dapat mencegah peroksidasi lipid terjadi (Zaki, 2015). Selanjutnya di dalam buah naga terdapat kandungan betacyanin. Kandungan ini dapat menetralkan radikal peroksil (LOO^*) pada proses propagasi dengan memutus rantai pembentukan radikal lipid yang baru (L^*). Sehingga proses ini dapat memutus reaksi peroksidasi lipid dan menyebabkan pembentukan MDA mengalami penurunan (Ma'arif *et al.*, 2020). Pada buah jambu biji juga terdapat kandungan likopen. Kandungan ini dapat mencegah kerusakan oksidatif lipid, asam nukleat, dan protein akibat ROS (Maryanto, 2013).

1.3 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang dan review literatur yang ada, maka teridentifikasi masalah yang diperoleh, yaitu :

- 1.3.1 Bagaimana efektivitas buah-buahan yang mengandung vitamin C dan suplemen vitamin C dalam mengendalikan stres oksidatif akibat aktivitas fisik ?
- 1.3.2 Apakah terdapat perbedaan antara vitamin C pada bahan pangan dengan vitamin C dalam bentuk suplemen?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian *review* ini adalah mengetahui efektifitas kandungan vitamin C dalam bahan pangan buah-buahan yang banyak ditemukan di Indonesia dan efektifitas vitamin C dalam bentuk suplemen dalam mengendalikan stres oksidatif yang diakibatkan oleh aktivitas fisik.