

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Minyak Goreng

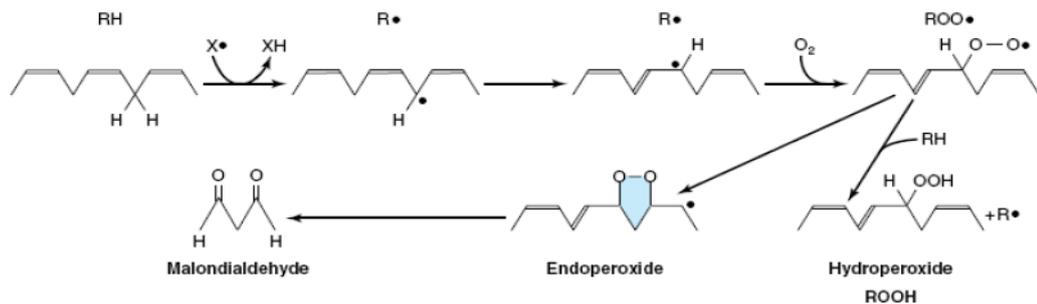
Dalam minyak goreng kelapa sawit terdapat kandungan asam lemak jenuh (*saturated fatty acids*), dalam bentuk asam *palmitat* sebanyak 40-46%. Selain itu terdapat asam lemak tak jenuh dalam bentuk ikatan tunggal maupun majemuk. Asam lemak tak jenuh tunggal (*mono unsaturated fatty acids/ MUFA*) yang terkandung dalam minyak goreng ditemukan dalam bentuk asam *oleat* sebanyak 39-45% dan asam lemak tak jenuh majemuk (*poly-unsaturated fatty acids/ PUFA*) dapat ditemukan dalam bentuk asam *linoleat* sebanyak 7-11%. Kandungan asam *oleat* dalam minyak goreng mudah menyebabkan ketengikan dalam minyak goreng dikarenakan mengandung satu ikatan rangkap.¹³

Pada proses oksidasi dalam minyak goreng, akan terjadi reaksi antara oksigen dengan lemak tidak jenuh dalam minyak, dimana ikatan rangkap cis (struktur bengkok) asam lemak tidak jenuh akan terisomerisasi menjadi konfigurasi trans (struktur lebih linier) yang secara termodinamik sifatnya lebih stabil daripada cis, seperti asam *oleat* menjadi asam *elaidat*. Asam *elaidat* mempunyai bentuk isomer asam lemak trans (ALT).¹⁴

Tabel 1. Kandungan asam lemak dalam minyak kelapa sawit.

| Jenis asam lemak | Rumus molekul | Kadar (%) |
|------------------|---|-------------|
| Asam miristat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ | 1,1 – 2,5 |
| Asam palmitat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ | 40,0 – 46,0 |
| Asam Stearat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ | 3,6 - 4,7 |
| Asam oleat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | 39,0 – 45,0 |
| Asam linoleat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ | 7,0 - 11,0 |

Reaksi oksidasi antara asam lemak tidak jenuh dengan senyawa oksigen disebut juga dengan reaksi peroksidasi lipid. Reaksi peroksidasi lipid akan menghasilkan hidroperoksida dan endoperoksida. Karena sifatnya yang tidak stabil, endoperoksida kemudian akan segera ter-dekomposisi dan menghasilkan produk reaksi sekunder. Beberapa contoh hasil reaksi sekunder tersebut adalah MDA, 4-hidroksinoneal (HNE), F2-isoprostan, etana dan pentana, senyawa aldehyd.^{2,15}

Gambar 1. Peroksidasi lipid pada asam lemak tak jenuh rantai panjang²

Selain karena penggorengan berkali-kali, minyak dapat menjadi rusak karena penyimpanan dalam jangka waktu tertentu karena terjadi proses oksidasi sehingga ikatan trigliserida pecah menjadi gliserol dan asam lemak bebas.¹⁶

Pada umumnya makanan hasil penggorengan mengandung 4% - 14% lemak dari total beratnya. Penggunaan minyak jelantah akan meningkatkan polaritas minyak dan menurunkan tegangan permukaan antara bahan pangan dan minyak sehingga penyerapan lemak akan semakin meningkat.¹⁷

Lemak trans dalam bentuk asam *elaidat* yang dihasilkan dari reaksi peroksidasi lipid pada minyak jelantah juga mempunyai pengaruh terhadap kesehatan seseorang. Sebuah penelitian tentang pengaruh suhu dan lama proses *deep frying* terhadap pembentukan asam lemak trans menunjukkan bahwa setelah proses *deep frying* yang ke-2 akan terbentuk asam lemak trans baru yang kadarnya akan semakin meningkat sejalan dengan pengulangan penggunaan minyak.¹⁸

Asam lemak jenuh dalam bentuk asam *palmitat* yang terkandung dalam minyak jelantah juga dapat menyebabkan lipotoksisitas. Lipotoksisitas adalah toksisitas sel akibat akumulasi abnormal lemak. Asam lemak bebas bersifat hidrofobik sehingga dapat menembus membran sel atau melalui transporter yaitu *fatty acid transport protein* (FATP) atau *fatty acid transporter* CD36. Asam lemak tersaturasi dapat menginduksi apoptosis (*programmed cell death*).¹⁹

Salah satu dampak berbahaya dari penggunaan minyak jelantah adalah meningkatnya radikal bebas yang terjadi akibat oksidasi pada pemanasan minyak. Radikal bebas dapat yang berlebihan akan menimbulkan stres oksidasi dan dapat menimbulkan penyakit kanker, inflamasi, aterosklerosis, dan mempercepat terjadinya proses penuaan.^{20, 21}

2.2. Radikal Bebas

Radikal bebas adalah atom atau molekul yang memiliki elektron yang tidak berpasangan (*unpaired electron*) pada orbit terluarnya, sehingga menjadi komponen yang tidak stabil dan menjadi sangat reaktif.²² Suatu molekul bersifat stabil bila elektronnya berpasangan, tetapi bila tidak berpasangan (*unpaired*) molekul tersebut menjadi tidak stabil dan memiliki potensi untuk merusak. Bila molekul tidak stabil ini mengambil satu elektron dari senyawa lain maka molekul tersebut menjadi stabil sedangkan molekul yang diambil elektronnya menjadi tidak stabil berubah menjadi radikal dan memicu reaksi pembentukan radikal bebas berikutnya (reaksi berantai).²³

Radikal bebas dapat menyebabkan kerusakan pada DNA dan menyebabkan mutasi gen serta pertumbuhan dan perkembangan sel yang tidak wajar, sehingga menambah resiko terjadinya kanker. Radikal bebas juga dapat memicu reaksi oksidasi pada asam lemak tidak jenuh dalam lipid (reaksi peroksidasi lipid), oksidasi asam amino dalam protein, dan oksidasi ko-faktor enzim tertentu sehingga terjadi inaktivasi enzim.²⁴ Radikal bebas dapat menyebabkan penyakit kronik dan bersifat degeneratif seperti penyakit

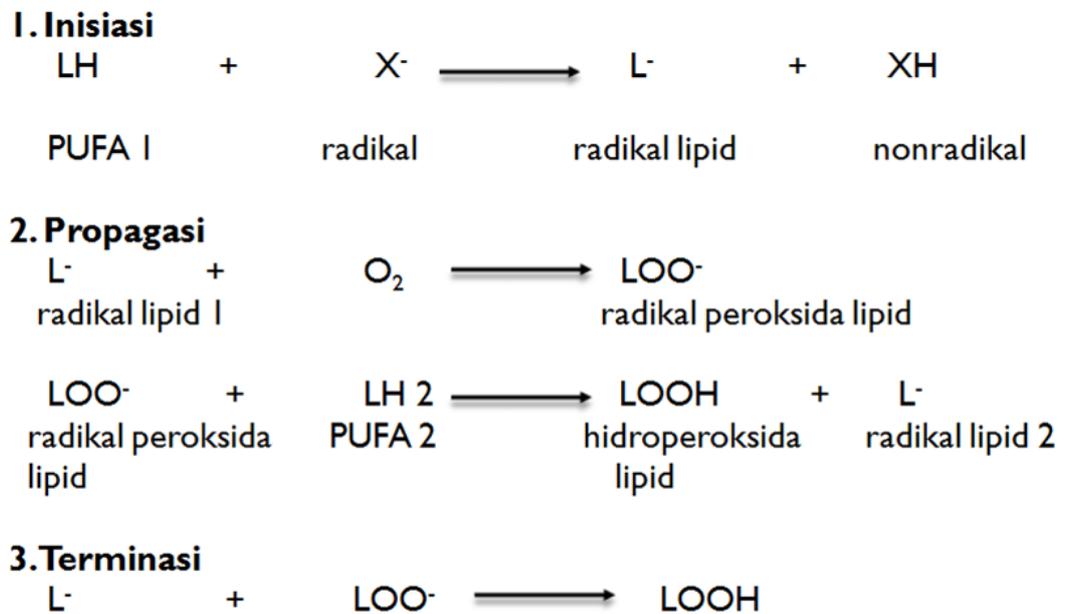
jantung, arteriosklerosis, penyakit kanker dan stroke. Selain itu radikal bebas dapat menyebabkan inflamasi, dan mempercepat terjadinya proses penuaan.^{20,21}

ROS terdiri dari radikal bebas (superoksida, radikal hidroksil, alkoxy, dan peroxy) dan non radikal (hidrogen peroksida dan hipoklorida). Radikal bebas adalah suatu molekul atau atom yang mengandung satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan pada orbit terluar sehingga bersifat tidak stabil. Radikal bebas berusaha menstabilkan diri dengan mengambil elektron dari molekul lain. Pada keadaan normal terjadi keseimbangan antara pembentukan ROS dan aktivitas antioksidan di dalam sel. Jika keseimbangan tersebut terganggu akan menimbulkan stres oksidatif yang dapat menyebabkan kerusakan komponen-komponen sel.^{25,26}

Stres oksidatif terbentuk ketika bentuk oksigen yang reaktif dihasilkan dengan cepat tanpa bisa dinetralisir oleh mekanisme pertahanan sel yang dilakukan oleh anti oksidan. Hal ini menyebabkan kerusakan makromolekul biologis dan gangguan fungsi dan metabolisme normal.²⁷

Secara umum, menurut Winarsi (2011) 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.²⁸

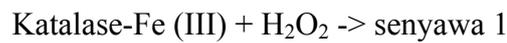


Gambar 2. Tahapan Pembentukan Radikal Bebas

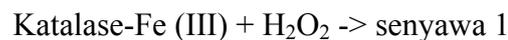
2.3. Enzim Katalase (CAT)

Enzim katalase (CAT) merupakan suatu enzim yang terdiri dari empat subunit protein dengan berat molekul sekitar 240 kDa. Tiap subunitnya mengandung gugus hem (Fe(III)) yang terikat pada situs aktifnya. Selain itu tiap subunit biasanya juga mengandung satu molekul NADPH yang membantu menstabilkan enzim. Enzim ini terutama terletak di dalam organel peroksisom. Katalase ditemukan di semua jaringan, dan aktivitasnya yang tinggi ditemukan di eritrosit, hati, ginjal, dan jaringan lemak. Katalase termasuk dalam kelas enzim oksido reduktase dengan nomor klasifikasi E.C.1.11.1.6.² Katalase adalah enzim yang bersifat antioksidan yang ditemukan pada sebagian besar sel aerobik.¹ Katalase mampu mengkatalisis reaksi penguraian hidrogen peroksida (H₂O₂) melalui dua mekanisme kerja yaitu katalitik dan peroksidatik. Mekanisme katalitik terjadi bila enzim ini

menggunakan molekul H_2O_2 sebagai substrat atau donor elektron dan molekul H_2O_2 yang lain sebagai oksidan atau akseptor elektron. Mekanisme ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Sedangkan mekanisme lain terjadi bila menggunakan satu molekul H_2O_2 sebagai akseptor elektron dan senyawa lain sebagai donor elektron. Senyawa yang dapat berperan sebagai donor elektron antara lain metanol, etanol, asam formiat, dan ion nitrit. Mekanisme ini dapat digambarkan sebagai berikut:



AH_2 : senyawa donor hidrogen

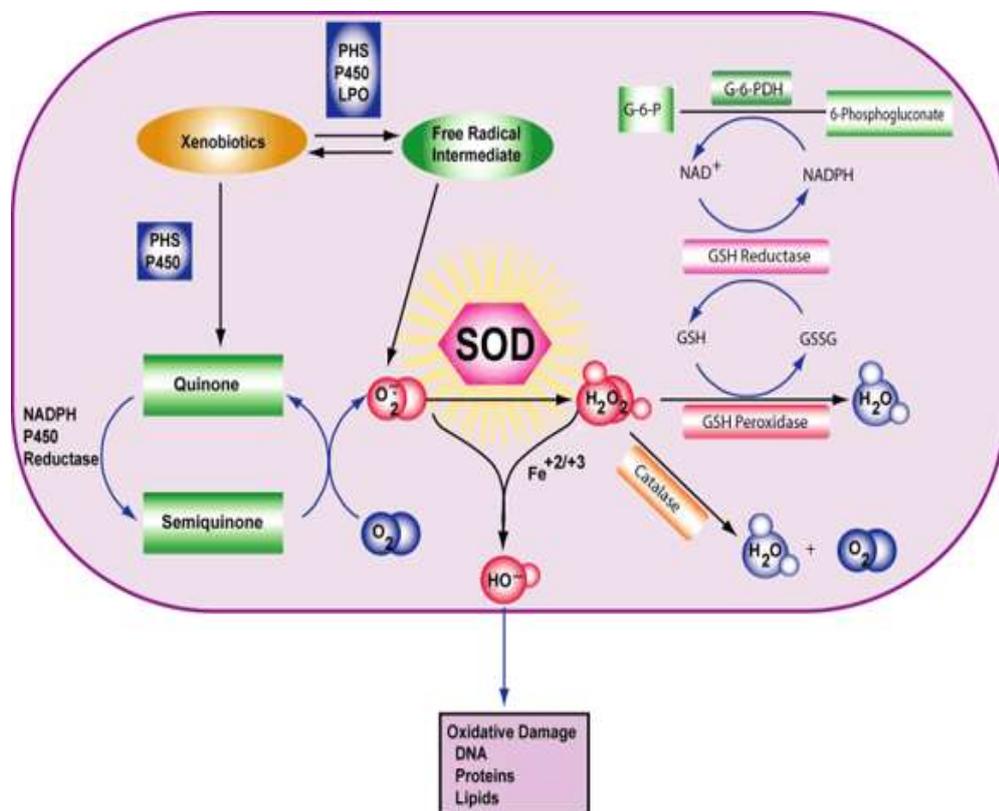
A : senyawa hasil oksidasi

Senyawa donor elektron yang berupa metanol dan etanol akan dioksidasi menjadi aldehid yang sesuai yaitu formaldehid dan asetaldehid sedangkan asam formiat dioksidasi menjadi karbon dioksida dan ion nitrit dioksidasi menjadi nitrat. Aktivitas katalase dapat dihambat oleh azida, sianida, dan asam hipoklorit (HOCl). Zat-zat ini selain dapat menghambat aktivitas katalase juga menghambat aktivitas banyak enzim lain. Inhibitor yang kuat untuk enzim katalase adalah aminotriazol. Aminotriazol menghambat aktivitas enzim katalase dengan cara mengikat senyawa 1 yang merupakan senyawa antara katalase-hidrogen peroksida. Aktivitas katalase terutama ditemukan

pada peroksisom sedangkan pada mitokondria, kloroplas dan retikulum endoplasma aktivitas katalase rendah. Enzim katalase dapat bekerja pada pH 4-8,5 namun aktivitas maksimum katalase diperoleh pada pH 7. Pada kisaran pH yang jauh dari pH optimum yaitu dibawah pH 4 atau diatas pH 8,5 terjadi inaktivasi enzim.³ Beberapa antioksidan endogen yang berperan mencegah terjadinya kerusakan oksidatif selain katalase adalah manganese superoksida dismutase (MnSOD), glutathion peroksidase dan Glutathion tereduksi (GSH).

Penurunan aktivitas katalase pada hipoksia diduga disebabkan karena menurunnya aktivitas MnSOD. Aktivitas MnSOD yang menurun akan menyebabkan menurunnya kadar H_2O_2 sebagai substrat katalase.²⁹ H_2O_2 yang dihasilkan oleh MnSOD akan diuraikan menjadi H_2O dan O_2 oleh enzim katalase. katalase bekerja pada konsentrasi H_2O_2 yang tinggi. Pada hewan, katalase terdapat pada semua organ, khususnya di hati yang merupakan organ metabolik terbesar dan terpenting di tubuh. Aktivitas MnSOD terdapat pada mitokondria sedangkan mitokondria sel hati hanya mengandung sedikit katalase.¹ Katalase banyak terdapat pada peroksisom, H_2O_2 sebelum sampai ke peroksisom dikonversi terlebih dahulu oleh GSH yang banyak terdapat pada sitosol sel hati.¹⁴

Peningkatan glutathion peroksidase berperan dalam melindungi membran eritrosit terhadap oksidan-oksidan dengan menguraikan hydrogen peroksida sehingga meregulasi kadar hidrogen peroksida dalam jaringan yang tidak terdapat katalase atau kadar katalase yang rendah. Kadar glutathion peroksidase yang tinggi menyebabkan penurunan kadar katalase begitu pula sebaliknya.¹



Gambar 3. Peran Antioksidan Endogen Enzim MnSOD dan Katalase.³⁰

2.4. Ubi Ungu (*Ipomoea batatas*. L)

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

Kingdom : Plantae

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Dicotyledonae

Ordo : Convolvulales

Famili : Convolvulaceae

Genus : *Ipoemoea*

Spesies : *Ipoemoea batatas*

Ubi ungu merupakan jenis umbi yang mempunyai banyak keunggulan dibanding umbi lainnya karena memiliki kandungan zat gizi yang beragam.³¹ Selain sebagai sumber energi dan karbohidrat, ubi ungu juga kaya akan vitamin dan mineral.

Tabel 2. Kandungan Nutrisi Ubi Jalar⁹

| 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% |

Vitamin yang terkandung dalam ubi ungu antara lain vitamin A, vitamin C, dan thiamin (vitamin B1). Dalam 100 gram ubi ungu didapatkan sekitar 9000 μg betakaroten, sedangkan dalam 100 gram ubi jalar putih dan kuning hanya mengandung 260 μg dan 2900 μg . Makin kuat intensitas warna ubi jalar, makin besar pula kandungan betakarotennya.⁹

Betakaroten merupakan provitamin A yang di dalam tubuh akan diubah menjadi vitamin A. Betakaroten juga merupakan jenis antioksidan yang dapat berperan penting dalam mengurangi konsentrasi radikal peroksil. Kemampuan betakaroten bekerja sebagai antioksidan berasal dari kesanggupannya untuk menstabilkan radikal berinti karbon. Betakaroten dapat menjangkau lebih banyak bagian-bagian tubuh dalam waktu relatif lebih lama dibandingkan dengan vitamin A, sehingga memberikan perlindungan lebih optimal terhadap munculnya penyakit akibat radikal bebas seperti kanker.¹¹ Preinkubasi sel dengan 100 M betakaroten melindungi hepatosit terhadap nekrosis seluler, sedangkan konsentrasi yang lebih rendah dari betakaroten (50 M) melindungi hepatosit terhadap 100 M GCDC (*glycochenodeoxycholic acid*). Betakaroten menghambat apoptosis sel hepar dengan cara menghambat enzim caspase 3 dan menurunkan pelepasan sitokrom c. Betakaroten menghambat MPT (*mitochondrial permeability transition*), menghambat pembentukan ROS, mengurangi aktivasi caspase 3 dan menghambat apoptosis.³²

Vitamin A yang tinggi banyak dikandung oleh ubi ungu, yaitu 7.700 mg per 100 gram.⁹ Vitamin A penting untuk kesehatan mata dan mencegah

kebutaan, vitamin A juga dapat meningkatkan daya tahan tubuh dan membantu mereparasi kerusakan jaringan, dan karena sebab itu dapat berfungsi melawan kerusakan yang disebabkan radikal bebas.¹¹

Vitamin C terdapat dalam bentuk asam askorbat maupun dehidroaskorbat.³³ Asam askorbat diabsorpsi usus halus, dan hampir seluruh asam askorbat dari makanan terabsorpsi sempurna. Asam askorbat masuk sirkulasi untuk didistribusikan ke sel-sel tubuh. Asam askorbat dioksidasi in vivo menjadi radikal bebas askorbil. Sebagian proses reversibel menjadi asam askorbat kembali, sebagian menjadi dehidroaskorbat yang akan mengalami hidrolisis, oksidasi dan akhirnya diekskresi melalui urine.³⁴ 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.³⁵ Sebagai zat penyapu radikal bebas, vitamin C dapat langsung bereaksi dengan superoksida dan anion hidroksil, serta berbagai hidroperoksida lemak. Vitamin C mempunyai potensial reduksi yang rendah, askorbat dan radikal askorbil mampu bereaksi dengan radikal biologis dan mereduksi oksidan-oksidan. Stabilitas dan reaktivitas radikal askorbil rendah. Mekanisme vitamin C bekerja sebagai antioksidan adalah mendonorkan hidrogen dari gugus hidroksilnya.^{11,36}

Antosianin merupakan zat warna golongan flavonoid yang terdapat pada beberapa tanaman. Zat warna antosianin bersifat sangat tidak stabil dan mudah terdegradasi. Stabilitas antosianin dipengaruhi oleh pH, suhu penyimpanan, cahaya, enzim, oksigenasi, perbedaan struktur, konsentrasi dari

antosianin. Bagian terpenting dari antosianin adalah aglikon antosianidin (kation flavilium) yang mengandung ikatan rangkap terkonjugasi sehingga dapat diserap pada panjang gelombang 500 nm. Oleh karena itu, senyawa ini dapat ditangkap oleh mata sebagai warna.³⁷ Ubi ungu mengandung komponen antioksidan yang sangat tinggi yaitu antosianin. Antosianin adalah senyawa polifenol alami yang memberi warna pada bunga, buah, dan tanaman. Senyawa antosianin memiliki efek farmakologi sebagai anti-inflamasi 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}).¹² Antioksidan ini memiliki efek neuroprotektif pada tikus yang diinduksi D-galaktosa. Antosianin dapat mencegah kerusakan hati yang berhubungan dengan NAFLD melalui tiga mekanisme yaitu, menghambat lipogenesis dengan mengurangi Srebp1c, mengaktifkan proses lipolisis dengan induksi aktivitas PPAR α dan mengurangi stres oksidatif dengan induksi enzim anti-oksidan. Efek dari anthocyanin pada metabolisme lipid tampaknya tergantung pada aktivasi dari jalur AMPK (*adenosine monophosphate protein kinase*) dalam hepatosit.³⁸

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- κ B),

Meningkatkan aktivitas *Copper/zinc superoxide dismutase* (Cu/Zn-SOD) dan *catalase* (CAT) dan menurunkan kadar *Malondialdehyde* (MDA).³⁹ Mekanisme Ubi ungu dalam menetralkan ROS adalah dengan meningkatkan kadar enzim-enzim antioksidan dalam tubuh, menekan proses lipid peroksidasi, dan menghambat proses inflamasi pada otak tikus.¹²

Tabel 3. Kandungan Antioksidan Ubi Jalar⁹

| ANTIOKSIDAN per 100 gram | Ubi jalar putih | Ubi jalar kuning | Ubi jalar ungu campur jingga |
|--------------------------|------------------|--------------------|------------------------------|
| Betakaroten | 260 mkg (869 SI) | 2900 mkg (9675 SI) | 9900 mkg (32967 SI) |
| Vitamin C | 28,68 mg/ 100 gr | 29,22 mg/ 100 gr | 21,43 mg/ 100 gr |
| Antosianin | 0,06 mg/ 100 gr | 4,56 mg/ 100 gr | 110,51 mg/ 100 gr |
| Vitamin A | | | 7.700 mg |

Ubi ungu juga mengandung serat yang tinggi. Serat berfungsi untuk mencegah konstipasi yang biasa dialami oleh ibu hamil trimester kedua. Serat mempunyai kemampuan untuk menyerap air dan lemak serta meningkatkan tekstur dan volume feses, sehingga makanan dapat melewati usus besar dengan cepat dan mudah . Kandungan serat di dalam ubi jalar sangat baik untuk mencegah gangguan pencernaan seperti wasir, sembelit hingga kanker kolon.⁴⁰

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.⁴¹