

**PENGARUH ANTIOKSIDAN BAWANG PUTIH,
BAWANG MERAH, CABAI RAWIT, TOMAT DAN DAUN
KEMANGI TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS
PADA TERASI GORENG**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

Oleh :
HANY PUTRI YULIATI
145090300111009

PROGRAM STUDI : S1 FISIKA



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

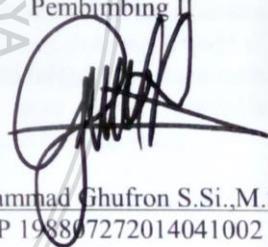
PENGARUH ANTIOKSIDAN BAWANG PUTIH,
BAWANG MERAH, CABAI RAWIT, TOMAT DAN DAUN
KEMANGI TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS
PADA TERASI GORENG

Oleh:
HANY PUTRI YULIATI
145090300111009

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal **04 JUL 2018**
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II



Drs. Unggul Pundjung Juswono, M.Sc
NIP 196501111990021002

Muhammad Ghufron S.Si.,M.Si
NIP 198807272014041002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Brawijaya



Prof. DR. rer. Nat. Muhammad Nurhuda
NIP 1964091011990021001





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hany Putri Yulianti

NIM : 145090300111009

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi Berjudul :

Pengaruh Antioksidan Bawang Putih, Bawang Merah, Cabai Rawit, Tomat Dan Daun Kemangi Terhadap Kandungan Radikal Bebas Pada Terasi Goreng

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka digunakan sebagai referensi pendukung dalam Skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 04 Juli 2018

Yang menyatakan,



(Hany Putri Yulianti)
NIM. 145090300111009



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH ANTIOKSIDAN BAWANG PUTIH, BAWANG MERAH, CABAI RAWIT, TOMAT DAN DAUN KEMANGI TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS PADA TERASI GORENG

ABSTRAK

Terasi banyak digemari oleh masyarakat luas, cara mengkonsumsi terasi yaitu harus digoreng terlebih dahulu agar bakteri dalam terasi hilang. Penggorengan terasi menyebabkan timbulnya radikal bebas yang berbahaya bagi tubuh manusia. Radikal bebas merupakan senyawa yang memiliki satu atau lebih elektron tidak berpasangan. Radikal bebas dapat dihambat oleh antioksidan. Antioksidan umumnya berasal dari sayur, buah dan rempah-rempah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pemberian antioksidan bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi terhadap kandungan radikal bebas pada terasi yang digoreng selama 1 menit, 2 menit dan 3 menit. Pengujian radikal bebas diidentifikasi dari jenis dan jumlah radikal bebas pada terasi goreng dengan menggunakan alat uji *Electron Spin Resonance* (ESR). Hasil dari penelitian ini adalah jenis radikal bebas pada terasi goreng adalah radikal bebas anion superoksida (O_2^-) dengan faktor-g sebesar 1,501-1,750. Kandungan radikal bebas yang dipengaruhi oleh waktu penggorengan 1 menit, 2 menit dan 3 menit berturut-turut sebesar 0,7572; 1,218 dan 1,605. Pengaruh pemberian antioksidan terhadap penurunan jumlah radikal bebas. Antioksidan yang paling efektif dalam menurunkan kandungan radikal bebas adalah cabai rawit.

Kata Kunci: Radikal bebas, antioksidan, penggorengan, *Electron spin resonance* (ESR).





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT ANTIOXIDANT OF ONION GARLIC, RED ONION, CHILI, TOMATO AND BASIL LEAVES ON FREE RADICAL CONTENT ON CHICKEN FRIED SHRIMP PASTE

ABSTRACT

Shrimp paste very popular in public, in the consumption of shrimp paste must be fried to prevent bacteria in shrimp paste. Shrimp paste frying causes free radicals that are harmful to the human body. Free radicals are compounds that have one or more unpaired electrons. These free radicals can be inhibited by antioxidants. Antioxidants can be obtained from vegetables, fruits and spices. This study aims to analyze the effect of antioxidant of onion garlic, red onion, chili, tomato and basil leaves on free radical on fried paste for 1 minute, 2 minutes and 3 minutes. The free radical assay was identified by the Electron Spin Resonance (ESR). The result of this research is the free radical type of fried shrimp paste is superoxide anions (O_2^-) with a g-factor of 1,501-1,750. Free radical content affected by frying time 1 minute, 2 minutes and 3 minutes in a row 0,7572; 1,218 and 1,605. The effect of antioxidants influences the decrease value of free radicals. The most effective antioxidant for reducing the value of free radicals is chili.

Keywords: Free radicals, Antioxidants, Fryers, Electron spin resonance (ESR).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, taufik, kuasa, inayah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Pengaruh Antioksidan Bawang Putih, Bawang Merah, Cabai Rawit, Tomat dan Daun Kemangi terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Terasi Goreng” pada Semester Genap 2017/2018 di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya dengan lancar.

Pembuatan Skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan orang-orang terdekat penulis. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Almh. Ibu Hirmei Sutjiati, S.Pd., Bapak Drs. Ponidi, Hirdany Oktobry N. dan Defri Ayu P. selaku keluarga penulis yang selalu memberikan motivasi, bimbingan, semangat, dan do'a yang tidak pernah putus, terkhusus Ibu yang menjadikan penulis pribadi yang tangguh dalam mengerjakan Skripsi ini.
2. Supriatna Adhisuwignjo, S.T., M.T. dan Dr. Suci Astutik, S.Si., M.Si. selaku Pakde dan Bude penulis yang selalu memberikan do'a dan bimbingan selama penulis menuntut ilmu dimalang.
3. Bapak Prof. Dr. rer. nat Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
4. Bapak Drs. Unggul Pundjung Juswono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 1.
5. Bapak Muhammad Ghufron S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2.
6. Bapak Dr. Ir. Wiyono, M.Si. selaku Dosen Penguji.
7. Bapak Agus dan Bapak Robby selaku Laboran Laboratorium.
8. Muhammad Ilham Supriyanto, Lita Prastika, Teman Seru (Puguh, Amir, Bayu, Riky, Juna, Ofin, Ririn, dan Dwi), Teman se-ESR (Yana, Selin, Putri, Dea, Dedy, Windi, Shella dan Siti), Teman LSIH (Amal, Lely, Agata dan Anabela) dan teman-teman lainnya yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

Adapun kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan Skripsi ini dan seomoga Skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Malang, 31 Mei 2018

Penulis



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Terasi	5
2.2 Minyak Goreng.....	7
2.3 Radikal Bebas	9
2.4 Antioksidan	12
2.5 Antioksidan Alami	14
2.5.1 Bawang Putih (<i>Allium sativum</i>).....	14
2.5.2 Bawang Merah (<i>Allium cepa L.</i>)	16
2.5.3 Cabai Rawit (<i>Capsicum frutescens</i>)	17
2.5.4 Tomat (<i>Lycopersicum esculentum</i>).....	19
2.5.5 Kemangi (<i>Ocinum basilicum</i>).....	20
2.6 ESR (<i>Electron Spin Resonance</i>).....	21
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan	27
3.3 Metode Penelitian.....	27
3.4 Tahap Penelitian	29
3.4.1 Persiapan Sampel	29
3.4.1 Persiapan dan kalibrasi alat	32
3.4.2 Pendeteksian radikal bebas menggunakan ESR	33
3.5 Analisis Data	34
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37



4.1	Hasil Penelitian.....	37
4.1.1	Kalibrasi Perangkat ESR (<i>Electron Spin Resonance</i>)...37	37
4.1.2	Hasil Kurva Resonansi Tanpa Radikal Bebas	38
4.1.3	Hasil Radikal Bebas pada Terasi Mentah dan Tanpa Antioksidan.....	39
4.1.4	Hasil Radikal Bebas pada Terasi Matang dan Tanpa Antioksidan.....	40
4.1.5	Hasil Radikal Bebas pada Terasi Matang dengan Pemberian Antioksidan.....	43
4.2	Pembahasan	52
4.2.1	Mekanisme Reaksi terbentuknya Radikal Bebas.....	52
4.2.2	Analisa Kurva Resonansi pada Osiloskop ESR.....	54
4.2.3	Energi Ikat Antioksidan dengan Radikal Bebas	55
4.2.4	Mekanisme Reaksi Radikal Bebas dengan Antioksidan.....	58
BAB V. PENUTUP		65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN		71



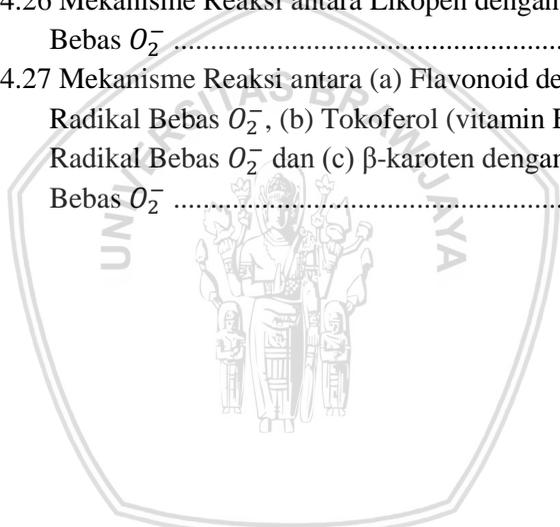
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Terasi Ikan dan Terasi Udang.....	5
Gambar 2.2 Minyak Goreng.....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi Pembentukan Radikal Bebas	9
Gambar 2.4 Mekanisme Antioksidan terhadap Radikal Bebas	13
Gambar 2.5 Bawang putih.....	14
Gambar 2.6 Struktur Alliin.....	15
Gambar 2.7 Struktur Quercetin	15
Gambar 2.8 Struktur Kaempferol.....	16
Gambar 2.9 Bawang merah	16
Gambar 2.10 Struktur Flavonol.....	17
Gambar 2.11 Cabai Rawit	18
Gambar 2.12 Struktur Flavonoid.....	18
Gambar 2.13 Struktur β -karoten.....	18
Gambar 2.14 Tomat	19
Gambar 2.15 Struktur Likopen.....	19
Gambar 2.16 Kemangi	20
Gambar 2.17 Struktur Flavonoid.....	21
Gambar 2.18 Struktur Tokoferol.....	21
Gambar 2.19 Struktur β -karoten.....	21
Gambar 2.20 Garis spektra atom yang terpisah.....	22
Gambar 2.21 Pola Kurva Lissajous.....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3.2 Terasi (a) Mentah, (b) Goreng 1 Menit, (c) Goreng 2 Menit dan (d) Goreng 3 Menit.....	29
Gambar 3.3 Gambar Ekstrak Antioksidan (a) Bawang Putih, (b) Bawang Merah, (c) Cabai Rawit, (d) Tomat dan (e) Daun Kemangi.....	30
Gambar 3.4 Sampel pada Tabung Durham	31
Gambar 3.5 Rangkaian Alat ESR Leybold-Heracus	32
Gambar 3.6 Perhitungan Kedalaman Kurva Resonansi dengan Microsoft Word.....	35
Gambar 4.1 Kurva Resonansi DPPH.....	38

Gambar 4.2 Kurva Resonansi Tanpa Radikal Bebas	38
Gambar 4.3 Kurva Resonansi pada Terasi Mentah	39
Gambar 4.4 Kurva Resonansi pada Terasi Matang (a) 1 menit, (b) 2 menit, (c) 3 menit	40
Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Penggorengan terhadap Kedalaman Kurva Resonansi	42
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Antioksidan Bawang Putih terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng.....	44
Gambar 4.7 Grafik Antioksidan Bawang Merah terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng	45
Gambar 4.8 Grafik Antioksidan Cabai Rawit terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng	46
Gambar 4.9 Grafik Antioksidan Tomat terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng	47
Gambar 4.10 Grafik Antioksidan Daun Kemangi terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng.....	48
Gambar 4.11 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 17%	49
Gambar 4.12 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 29%	50
Gambar 4.13 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 38%	50
Gambar 4.14 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 44%	51
Gambar 4.15 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 50%	51
Gambar 4.16 Pembentukan Radikal Bebas O_2^- oleh Rantai Transfer Elektron.....	53
Gambar 4.17 Penguraian Molekul H_2O akibat Interaksi dengan Sinar Ultraviolet	53
Gambar 4.18 Penguraian Molekul H_2O akibat Proses Pemanasan ..	54
Gambar 4.19 Struktur Gugus Hidroksil.....	56
Gambar 4.20 Reaksi Radikal Bebas dengan Gugus Hidroksil (OH)	57
Gambar 4.21 Radikal Bebas O^* yang terdelokalisasi	57



Gambar 4.22 Penetralan DPPH (Diphenyl-picrylhydrazyl) oleh Gugus Hidroksil (OH)	58
Gambar 4.23 Mekanisme Reaksi antara (a) Alliin dengan Radikal Bebas O_2^- , (b) Quercetin dengan Radikal Bebas O_2^- dan (c) Kaemferol dengan Radikal Bebas O_2^-	59
Gambar 4.24 Mekanisme Reaksi antara Flavonol dengan Radikal Bebas O_2^-	60
Gambar 4.25 Mekanisme Reaksi antara (a) Vitamin C dengan Radikal Bebas O_2^- , (b) Flavonoid dengan Radikal Bebas O_2^-	61
Gambar 4.26 Mekanisme Reaksi antara Likopen dengan Radikal Bebas O_2^-	62
Gambar 4.27 Mekanisme Reaksi antara (a) Flavonoid dengan Radikal Bebas O_2^- , (b) Tokoferol (vitamin E) dengan Radikal Bebas O_2^- dan (c) β -karoten dengan Radikal Bebas O_2^-	63





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Unsur Gizi dalam 100g Terasi	6
Tabel 2.2 Range Titik uap (asap) minyak goreng nabati dan hewani baru	8
Tabel 2.3 Radikal Bebas Biologis	10
Tabel 2.4 Sumber-sumber radikal bebas	11
Tabel 2.5 Nilai Faktor-g	24
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kalibrasi DPPH.....	37
Tabel 4.2 Radikal Bebas pada Terasi Matang tanpa Antioksidan berdasarkan 5 kali Percobaan.....	41
Tabel 4.3 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi ...	42
Tabel 4.4 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Bawang Putih.....	44
Tabel 4.5 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Bawang Merah.....	45
Tabel 4.6 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Cabai Rawit.....	46
Tabel 4.7 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Tomat	47
Tabel 4.8 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Daun Kemangi	48
Tabel 4.9 Nilai Energi Ikat (Fadiawati, 2001).....	57

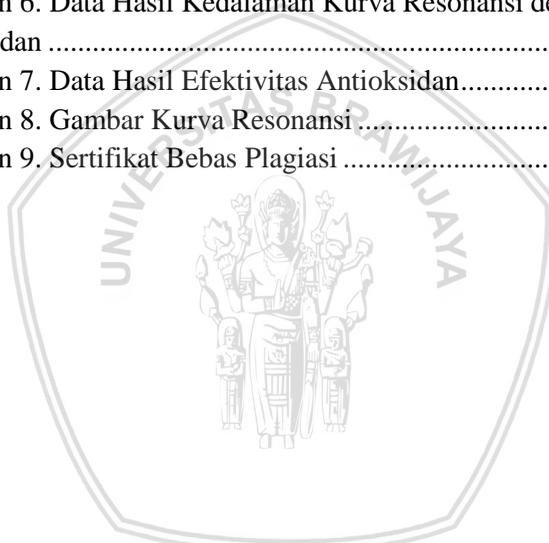




(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Alat dan Bahan	71
Lampiran 2. Data Hasil Kalibrasi DPPH.....	72
Lampiran 3. Data Hasil Perhitungan Faktor-g Terasi Goreng tanpa Antioksidan	75
Lampiran 4. Data Hasil Perhitungan Faktor-g Terasi Goreng dengan Antioksidan	76
Lampiran 5. Data Hasil Kedalaman Kurva Resonansi tanpa Antioksidan	86
Lampiran 6. Data Hasil Kedalaman Kurva Resonansi dengan Antioksidan	87
Lampiran 7. Data Hasil Efektivitas Antioksidan.....	97
Lampiran 8. Gambar Kurva Resonansi	99
Lampiran 9. Sertifikat Bebas Plagiasi	109





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terasi merupakan salah satu produk hasil fermentasi dari ikan (udang) yang pembuatannya hanya dilakukan penggaraman tanpa penambahan asam dan kemudian dibiarkan beberapa saat agar terjadi proses fermentasi (Afrianto and Liviawaty, 1989). Secara umum, bahan baku yang digunakan pada pembuatan terasi adalah ikan-ikan kecil dan udang-udang kecil (rebon). Ikan-ikan kecil dan rebon ini merupakan sumber protein hewani yang baik selain daging dan telur (Suprpti, 2012). Kebanyakan orang menyukai terasi karena memiliki rasa dan bau yang unik. Terasi umumnya dikonsumsi dengan cara diolah bersama cabai dan garam untuk pembuatan sambal. Biasanya terasi yang digunakan untuk sambal digoreng terlebih dahulu agar tercipta rasa sambal yang semakin lezat (Irianto, 2013). Terasi memiliki kandungan protein, kalsium dan yodium yang tinggi. Terasi juga memiliki kandungan vitamin B₁₂ dan beberapa asam amino (Suprpti, 2012). Selain itu terasi banyak mengandung senyawa nitrosamina dan nitroso-amina yang bersifat memicu tumbuhnya sel kanker, seperti kanker lambung dan jenis-jenis kanker mulut seperti kanker tenggorokan (Apriadji, 2007).

Penggorengan terasi hingga bagian luarnya hangus menghasilkan senyawa kuinon (*quinon*) dan benzopirena (*benzopyrene*). Senyawa kuinon dan benzopirena ini termasuk jenis dari polisiklik aromatik hidrokarbon (*polycyclic aromatic hydrocarbon*) yang merupakan senyawa karsinogenik (Apriadji, 2007). Senyawa karsinogenik adalah senyawa yang menimbulkan kanker. Sebagian besar senyawa karsinogenik dikonsumsi dalam bentuk prokarsinogenik dan disederhanakan menjadi senyawa karsinogenik oleh enzim fase I pada hati (Astawan and Kasih, 2008). Senyawa karsinogenik terbentuk dari reaksi radikal bebas akibat pembakaran tidak sempurna pada bahan-bahan organik. Contoh dari bahan-bahan organik adalah gula, asam amino, dan lemak (Mardiah, Zakaria and Asyhdad, 2006).

Radikal bebas merupakan molekul yang kehilangan elektron sehingga molekul tersebut bersifat tidak stabil dan cenderung untuk mengambil elektron dari molekul atau sel lain (Subandi, 2010).

Aktivitas dari radikal bebas yaitu berupaya untuk mencari pasangan elektron, sehingga dampaknya adalah akan terbentuk radikal bebas baru dari molekul yang elektronnya diambil untuk berikatan dengan radikal bebas sebelumnya. Radikal bebas umumnya menyerang protein, lipoprotein dan asam lemak tak jenuh serta unsur DNA termasuk karbohidrat. Akibat kerja radikal bebas memungkinkan terjadi gangguan dari fungsi sel, kerusakan pada struktur sel dan molekul yang termodifikasi sehingga tidak dapat dikendalikan oleh sistem imun serta mutasi. Bentuk gangguan tersebut dapat memicu munculnya berbagai penyakit seperti kanker. Dampak radikal bebas adalah mengganggu fungsi sel sehingga fungsi sel menjadi tidak normal. Gangguan fungsi sel meliputi sel-sel berumur pendek yang ditandai dengan kulit keriput, penuaan dini dan penyakit degeneratif. Sistem pertahanan tubuh menurun sehingga tubuh menjadi lemah dan mudah sakit. Reaksi abnormal dari sel sehingga timbul sel-sel baru yang memicu tumbuhnya sel tumor dan kanker (Winarsi, 2007).

Senyawa karsinogenik dan radikal bebas dapat dihambat oleh senyawa antioksidan. Senyawa antioksidan merupakan suatu senyawa pemberi elektron yang dapat menangkal radikal bebas dalam tubuh. Cara kerja antioksidan yaitu dengan mendonorkan satu elektronnya kepada radikal bebas sehingga aktivitas dari radikal bebas dapat dihambat (Winarsi, 2007). Antioksidan sebenarnya ada dalam tubuh manusia, tubuh memiliki antioksidan untuk membatasi kerusakan sel. Antioksidan dalam tubuh mencakup senyawa seperti cystein, glutathion, dan D-penicillamin. Antioksidan ini bekerja dengan mencegah produksi radikal bebas (Youngson, 2003). Namun antioksidan dalam tubuh kurang mampu dalam menangkal radikal bebas sehingga perlu adanya antioksidan yang diperoleh dari makanan.

Sumber-sumber antioksidan yang diperoleh dari makanan dan dapat dimanfaatkan oleh manusia dihasilkan dari antioksidan sintetis dan alami. Antioksidan sintetis merupakan antioksidan yang digunakan pada produk pangan contohnya BHA (Butil Hidroksi Anisol) dan BHT (Butil Hidroksi Toluen). Namun antioksidan sintetis tersebut memiliki efek samping seperti kerusakan hati dan mutagenesis (Kristanty, Mun'im and Katrin, 2013). Oleh sebab itu antioksidan alami lebih sering digunakan untuk penangkal radikal bebas. Sebagian besar sumber antioksidan alami adalah tumbuhan seperti pada bagian akar, kayu, daun, bunga, buah, biji, maupun serbuk

sari (Zuhra, Tarigan and Sihotang, 2008). Umumnya senyawa antioksidan alami dari tumbuhan berupa tokoferol, vitamin C, β -karoten, flavonoid, dan senyawa fenolik (Hadyathma, 2010). Antioksidan alami juga diperoleh dari tumbuhan rempah-rempah dan sayuran (Sandjaja, 2009). Salah satu rempah-rempah dan sayuran yang mengandung antioksidan adalah bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi. Bawang putih dan bawang merah mengandung antioksidan quercetin dan kaemferol (Khomsan and Faisal, 2008). Cabai rawit memiliki kandungan antioksidan berupa vitamin C dan β -karoten (Suryana, 2013). Tomat mengandung antioksidan berupa lipopen (Apriadji, 2007). Daun kemangi memiliki antioksidan meliputi flavonoid dan eugenol (Andareto, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil pada latar belakang diatas adalah apa jenis radikal bebas yang terdapat pada terasi goreng dengan waktu penggorengan yang berbeda dan bagaimana pengaruh pemberian antioksidan bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi terhadap kandungan radikal bebas pada terasi yang digoreng.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan terasi dari fermentasi udang dan antioksidan yang digunakan bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi. Alat uji yang digunakan adalah ESR (*Electron Spin Resonance*) untuk mendeteksi radikal bebas pada terasi yang digoreng. Suhu pada proses penggorengan dibuat relatif konstan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat mengidentifikasi dan menganalisis jenis radikal bebas pada terasi yang digoreng serta menganalisis pengaruh pemberian antioksidan bawang putih, bawang merah, cabai, tomat dan daun kemangi terhadap kandungan radikal bebas pada terasi yang digoreng.

1.5 Manfaat

Memberikan informasi kepada masyarakat tentang bahaya radikal bebas yang terdapat pada terasi goreng dan pentingnya mengkonsumsi rempah dan sayuran seperti bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi sebagai antioksidan alami untuk mengurangi kandungan radikal bebas pada terasi goreng.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Terasi

Terasi merupakan produk awetan dari ikan-ikan kecil atau rebon yang diolah dengan cara pemerahan atau fermentasi, penggilingan atau penumbukan, dan penjemuran yang dilakukan selama ± 20 hari. Pembuatan terasi biasanya ditambahkan garam sebagai bahan pengawet. Fermentasi yang terjadi pada tahap pembuatan terasi dikarenakan akibat terjadi aktivitas suatu enzim yang berasal dari ikan atau udang (Suprapti, 2012). Umumnya pembuatan terasi memanfaatkan ikan (atau udang) yang kualitasnya kurang baik untuk dikonsumsi secara langsung. Tetapi adapula pembuatan terasi yang sengaja menggunakan ikan (atau udang) yang masih baik dengan harapan mempunyai mutu yang lebih baik juga (Afrianto and Liviawaty, 1989). Produk terasi memang tidak dikonsumsi dalam jumlah yang banyak, tetapi terasi hampir selalu digunakan pada pembuatan sambal yang dikonsumsi bersama dengan sayuran dan beberapa lauk lainnya. Terasi tidak hanya dikonsumsi oleh orang Indonesia saja, tetapi juga dinegara-negara lain dikawasan Asia (Suprapti, 2012).

Berdasarkan bahan baku pembuatannya, terasi yang diperjualbelikan pada masyarakat dibedakan menjadi dua macam, yaitu terasi ikan dan terasi udang yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Kedua terasi ini memiliki perbedaan antara lain pada terasi ikan memiliki warna kehitaman, sedangkan pada terasi udang memiliki warna cokelat kemerahan. Harga jual dari keduanya juga berbeda, umumnya terasi udang lebih tinggi harganya dibandingkan dengan terasi ikan (Suprapti, 2012).



Gambar 2.1 Terasi Ikan dan Terasi Udang (Suprapti, 2012)

Pembuatan terasi memiliki prosedur yang didalamnya dilakukan beberapa tahap. Tahap pertama ikan (atau udang) dibersihkan dan dimasukkan kedalam karung selama 24 jam. Kemudian ikan (atau udang) dicuci dan dijemur selama 1-2 hari. Tahap selanjutnya ikan (atau udang) ditumbuk dan diberi garam secukupnya. Hasil tumbukan dibungkus dengan daun pisang dan didiamkan selama sehari. Kemudian hasil tumbukan yang sudah dibungkus daun pisang dijemur selama 3-4 hari. Setelah dijemur kemudian ditumbuk kembali sampai halus dan dibungkus kembali dengan daun pisang, dibiarkan selama 1-4 minggu hingga terjadi proses fermentasi. Fermentasi dianggap selesai bila telah tercium aroma terasi yang khas (Afrianto and Liviawaty, 1989). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas terasi, yaitu tingkat kesegaran bahan, aroma dan cita rasa, serta kehalusan atau kelembutan butiran (Suprapti, 2012).

Kandungan yang terdapat dalam terasi memiliki unsur gizi yang cukup lengkap dan tinggi terkhusus pada terasi udang. Terasi udang memiliki kandungan Yodium yang sangat tinggi yang berasal dari bahan bakunya. Adapun kandungan unsur gizi yang terdapat dalam terasi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Unsur Gizi dalam 100g Terasi (Apriadji, 2007)

No	Nama Unsur	Kadar Unsur
1	Protein	30,0 g
2	Lemak	3,5 g
3	Karbohidrat	3,5 g
4	Mineral	23,0 g
5	Kalsium	100,0 mg
6	Fosfor	250,0 mg
7	Besi	3,1 mg
8	Air	40,0 g

Terasi juga mengandung unsur gizi berupa vitamin B₁₂ dan beberapa Asam Amino (Suprapti, 2012). Selain mengandung unsur gizi, terasi juga mengandung senyawa nitrosamina dan nitro-amina yang bersifat memicu tumbuhnya sel kanker (Apriadji, 2007). Terasi umumnya dikonsumsi untuk pembuatan sambal dengan cara digoreng terlebih dahulu agar tercipta rasa sambal yang lezat. Penggorengan terasi hingga bagian luarnya hangus dapat menghasilkan senyawa

seperti kuinon (*quinon*) dan benzopirena (*benzopyrene*) yang termasuk jenis dari polisiklik aromatik hidrokarbon (*polycyclic aromatic hydrocarbon*). Polisiklik Aromatik Hidrokarbon merupakan senyawa karsinogenik (Apriadi, 2007).

2.2 Minyak Goreng

Minyak sumber energi bagi manusia. Kandungan dalam minyak berupa vitamin larut lemak antara lain vitamin A, D, E dan K. Minyak juga dapat meningkatkan citarasa dan kelezatan makanan serta (Winarno, 2002). Minyak berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi minyak nabati dan minyak hewani. Minyak nabati merupakan minyak yang berasal dari tumbuhan seperti minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak kacang dan minyak zaitun. Minyak hewani adalah minyak yang berasal dari hewan, contoh dari minyak hewani adalah minyak ikan, sapi dan domba. Minyak berdasarkan kandungan kimia disusun oleh asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh tunggal serta asam lemak tidak jenuh jamak (PUFA). Asam lemak jenuh cenderung merusak kesehatan karena asam ini cenderung lengket pada dinding pembuluh darah. Asam lemak tidak jenuh dan asam lemak tidak jenuh jamak (PUFA) cenderung memberikan kesehatan bagi tubuh manusia (Winarno, 1999).



Gambar 2.2 Minyak Goreng (Winarno, 2002)

Gambar 2.2 merupakan minyak goreng yang pada umumnya digunakan sebagai media penghantar panas. Penghantaran panas umumnya dilakukan dengan penggorengan, hal ini yang menjadikan minyak disebut sebagai minyak goreng. Titik uap (asap) dari minyak goreng selalu lebih tinggi dari temperatur penggorengan rendam

(175°-190°C). Penggorengan rendam adalah penggorengan ketika bahan yang digoreng tercelup seluruhnya pada minyak. Titik uap (asap) pada minyak goreng tergantung dari sumbernya, yaitu yang berasal dari nabati dan hewani. Titik uap (asap) dari minyak goreng dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Range Titik uap (asap) minyak goreng nabati dan hewani baru (Wolke, 2002)

No	Jenis Minyak	Titik Uap (°C)
1	Minyak Kedelai	433-450
2	Minyak Bunga Matahari	433-450
3	Minyak Canola	428-447
4	Minyak Biji Kapas	425-445
5	Minyak Kacang Tanah	419-431
6	Minyak Zaitun	408-458
7	Minyak Jagung	400-417
8	Minyak Babi	362-400
9	Mentega (dimurnikan)	350-375
10	Minyak Safflower	325-350
11	Minyak (tak dimurnikan)	250-300

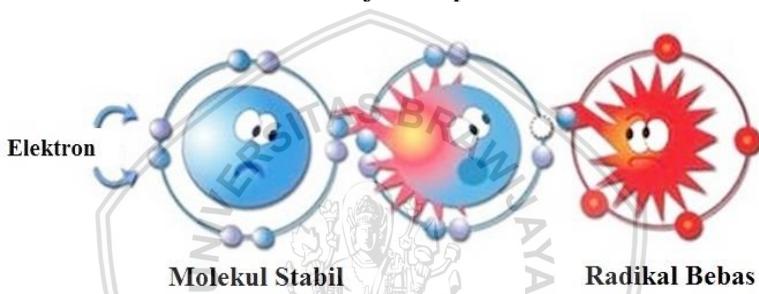
Titik uap (asap) sangat bergantung pada pemurniannya. Titik uap minyak dari pemurnian pertama lebih rendah, sedangkan titik uap minyak dari pemurnian yang lebih lanjut umumnya lebih tinggi. Minyak bekas memiliki titik uap (asap) yang lebih rendah. Minyak hewani umumnya mengalami penguapan pada temperatur lebih rendah daripada minyak nabati dikarenakan asam lemak jenuh pada minyak hewani lebih mudah terurai. Minyak goreng yang dipanaskan sekitar 315° akan mengalami titik nyala (*flash point*), yaitu temperatur ketika uap minyak goreng dapat menyala kalau terkena api. Minyak goreng dengan temperatur yang lebih tinggi yaitu 370° akan mencapai titik api (*fire point*), yaitu minyak goreng dapat menyala dengan sendirinya (Wolke, 2002).

Minyak goreng dapat memberikan rasa gurih dan menambah nilai kandungan gizi dan kalori. Minyak goreng berdampak negatif bagi tubuh ketika digunakan berulang kali dengan suhu yang tinggi dan waktu yang cukup lama, hal ini dapat membuat senyawa dalam minyak goreng menjadi berbentuk padat. Senyawa padat ini dalam waktu lama akan mengalami oksidasi yaitu peristiwa pelepasan

elektron dan dapat membentuk senyawa-senyawa radikal bebas yang dapat merusak kesehatan tubuh manusia (Halliwell and Gutteridge, 2015).

2.3 Radikal Bebas

Radikal bebas adalah atom, unsur, senyawa atau molekul yang mempunyai satu atau lebih elektron tidak berpasangan pada orbital luarnya. Radikal bebas adalah senyawa yang sangat reaktif mencari pasangan, salah satu caranya yaitu dengan menyerang dan mengikat elektron molekul stabil yang berada disekitarnya (Winarsi, 2007). Struktur dari radikal bebas ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ilustrasi Pembentukan Radikal Bebas (Winarsi, 2007)

Elektron yang berikatan dengan senyawa radikal bebas dapat bersifat ionik dan kovalen, ketika elektron yang terikat dengan radikal bebas bersifat ionik maka dampak yang ditimbulkan tidak begitu berbahaya. Namun ketika elektron yang terikat dengan radikal bebas bersifat kovalen maka ikatan elektron dengan radikal bebas tersebut digunakan bersama-sama pada orbital terluarnya sehingga mengakibatkan dampak yang berbahaya. Senyawa yang memiliki ikatan kovalen diantaranya protein, lipid, DNA dan biomakromolekul lainnya (Winarsi, 2007).

Radikal bebas dalam mencari pasangan elektron sangat reaktif, ketika radikal bebas mengambil elektron dari molekul yang lebih stabil maka terbentuk suatu radikal bebas baru. Radikal bebas baru ini tidak lain berasal dari atom (molekul) yang elektronnya terambil oleh radikal sebelumnya. Pertemuan antara dua senyawa radikal bebas yang masing-masing senyawa memiliki elektron tidak berpasangan akan membentuk ikatan kovalen dalam keadaan stabil. Namun ketika

terjadi pertemuan antara senyawa radikal bebas dengan senyawa bukan radikal bebas maka akan terjadi 3 kemungkinan, yaitu radikal bebas akan bersifat reduktor, oksidator dan radikal bebas berikatan dengan senyawa bukan radikal bebas (Halliwell, Gutteridge and Cross, 1992).

Senyawa-senyawa seperti protein dan lipid merupakan senyawa yang rentan terhadap radikal bebas sehingga mudah diserang dan memicu timbulnya senyawa karsiogenik yang mengakibatkan timbulnya berbagai penyakit degeneratif (Octavia, 2009). Hal ini dapat terjadi akibat kurangnya senyawa antioksidan yang ada didalam tubuh manusia sehingga tidak mampu mengimbangi terjadinya produksi oksidasi setiap saat. Contoh dari radikal bebas yaitu molekul oksigen yang normal lengkap pasangan elektronnya dengan rumus molekulnya adalah O_2 , tetapi ketika berubah menjadi radikal bebas maka rumus molekulnya berubah menjadi O_2^- atau dinamakan anion superoksida (Kumalaningsih, 2006).

Radikal bebas dalam tubuh atau radikal bebas biologis merupakan radikal derivat (turunan) dari oksigen yang disebut sebagai kelompok oksigen reaktif (ROS). Jenis radikal bebas ROS terbentuk dari proses konsumsi oksigen. Proses ini mengalami reduksi univalen sehingga terbentuk jenis oksigen yang beracun. Reduksi oksigen tersebut memerlukan transfer elektron yang harus melalui beberapa tahap. Oksigen hanya mampu menerima satu elektron saja dalam tiap tahapan sehingga sangat mudah terjadi ketidaksempurnaan dalam proses tersebut, hal inilah yang dapat menyebabkan munculnya senyawa oksigen reaktif seperti anion peroksida, hydrogen peroksida, radikal peroksil dan radikal hidroksil. ROS (*Reactive Oxygen Species*) berasal dari turunan oksigen seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Radikal Bebas Biologis (Arief, 2006)

Kelompok Oksigen Reaktif	
O_2^-	Radikal Superoksida (<i>Superoxide Radical</i>)
OH	Radikal Hidroksil (<i>Hydroxyl Radical</i>)
ROO^\cdot	Radikal Peroksil (<i>Peroxyl Radical</i>)
H_2O_2	Hydrogen Peroksida (<i>Hydrogen Peroxide</i>)
1O_2	Oksigen Tunggal (<i>Singlet Oxygen</i>)
NO^\cdot	Nitrit Oksida (<i>Nitric Oxide</i>)
$ONOO^\cdot$	Nitrit Peroksida (<i>Peroxynitrite</i>)
HOCl	Asam Hipoklar (<i>Hypochlorous Acid</i>)

Selain pada Tabel 2.3, ditemukan beberapa radikal bebas lainnya seperti radikal bebas CCL_3 yang mengandung karbon berasal dari oksidasi radikal molekul organik, radikal bebas H- yang memiliki hidrogen hasil penyerangan atom H, radikal bebas yang mengandung sulfur dan diproduksi pada oksidasi glutation yang membentuk radikal thiyl (R-S-). Radikal lainnya juga ditemukan seperti radikal yang mengandung nitrogen, contohnya radikal fenyl diazine (Arief, 2006).

Radikal bebas memiliki mekanisme yang dapat digambarkan sebagai suatu deret reaksi-reaksi bertahap. Tahapan mekanisme tersebut diawali dengan inisiasi yaitu pembentukan awal radikal bebas. Tahap selanjutnya adalah propagasi yaitu perambatan atau terbentuknya radikal baru. Tahap terakhir adalah terminasi yaitu pemusnahan atau perubahan menjadi radikal bebas stabil dan tidak reaktif (Andriyanti, 2009).

Radikal bebas dapat terbentuk melalui endogen dan eksogen, secara endogen yaitu radikal bebas terbentuk sebagai sebuah respon normal akibat proses biokimia internal maupun eksternal. Sedangkan secara eksogen yaitu radikal bebas berasal dari makanan, polusi dan injeksi maupun absorpsi melalui injeksi (Winarsi, 2007). Radikal bebas juga berasal dari senyawa bukan radikal bebas, tetapi senyawa tersebut mampu secara mudah untuk berubah menjadi radikal bebas. Sumber-sumber radikal bebas berasal dari faktor endogen dan eksogen ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sumber-sumber radikal bebas (Winarsi, 2007)

No	Sumber Endogen	Sumber Eksogen
1	Mitokondria	Rokok
2	Fagosit	Polutan lingkungan
3	Xantin oksidase	Radiasi
4	Reaksi yang melibatkan logam transisi	Obat-obatan tertentu (pestisida, anestesi dan larutan industri)
5	Jalur arakhidonat	Ozon
6	Peroksisom	
7	Olahraga	
8	Peradangan	
9	Iskemia/Reperfusi	

Radikal bebas dalam jumlah berlebih didalam tubuh sangat berbahaya karena dapat menyebabkan kerusakan pada sel, kerusakan asam nukleat, kerusakan protein dan kerusakan jaringan lemak. Radikal bebas terbentuk akibat adanya produk sampingan dari proses metabolisme ataupun dari proses pernapasan (Andriyanti, 2009).

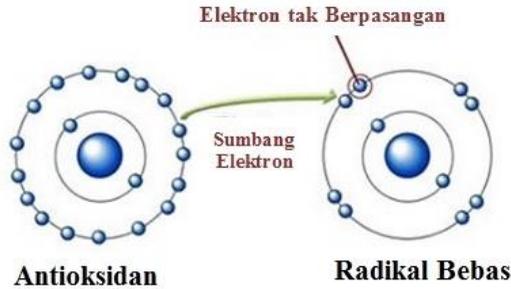
2.4 Antioksidan

Senyawa antioksidan secara kimia dapat didefinisikan sebagai senyawa pemberi elektron (donor elektron). Sedangkan secara biologis, antioksidan dapat diartikan sebagai senyawa yang berfungsi untuk menangkal atau meredam dampak negatif dari radikal bebas didalam tubuh. Antioksidan berperan dalam menghambat aktivitas senyawa radikal bebas dengan cara mendonorkan elektronnya kepada senyawa oksidan atau radikal bebas (Winarsi, 2007).

Antioksidan merupakan parameter penting dalam memantau kesehatan seseorang yang berkaitan dengan reaksi oksidasi didalam tubuh. Tubuh manusia secara kontinu dapat memproduksi sistem antioksidan untuk menangkal atau meredam aktivitas radikal bebas. Adanya reaksi oksidasi dalam tubuh dapat menyebabkan terbentuknya suatu senyawa oksigen reaktif, ketika jumlah senyawa oksigen reaktif ini melebihi jumlah antioksidan dalam tubuh, maka kelebihan oksigen reaktif tersebut akan menyerang komponen protein, lipid, maupun DNA yang kemudian dapat menyebabkan kerusakan sel akibat stress oksidatif. Reaktivitas senyawa oksidan dapat dihambat melalui 3 cara yaitu pembentukan radikal baru, menginaktivasi atau menangkal radikal dan memotong propagasi (pemutusan rantai), serat memperbaiki (repair) kerusakan oleh radikal (Winarsi, 2007).

Berdasarkan mekanismenya antioksidan dapat dikelompokkan menjadi antioksidan primer dan antioksidan sekunder. Antioksidan primer merupakan antioksidan yang berperan sebagai penangkap radiasi bebas sehingga mampu menghambat aktivitas radikal bebas yang mengganggu kerja sistem dalam tubuh. Antioksidan primer disebut juga dengan antioksidan pemecah rantai karena dapat menghentikan radikal lipid sehingga radikal lipid menjadi lebih stabil (Astuti, 2008). Sedangkan antioksidan sekunder adalah antioksidan pelindung yang berperan dalam mengurangi kecepatan radikal bebas dalam proses inisiasi. Antioksidan sekunder dapat mengikat ion-ion logam, menangkap oksigen reaktif, dan mengubah hidroperoksida

menjadi bentuk non radikal (Astuti, 2008). Mekanisme dari antioksidan dalam pemberian elektron dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mekanisme Antioksidan terhadap Radikal Bebas (Astuti, 2008)

Antioksidan sebenarnya ada dalam tubuh manusia, tubuh memiliki antioksidan untuk membatasi kerusakan sel. Antioksidan dalam tubuh mencakup senyawa seperti cystein, glutathion, dan D-penicillamin. Antioksidan ini bekerja dengan mencegah produksi radikal bebas (Youngson, 2003). Namun antioksidan dalam tubuh kurang mampu dalam menangkal radikal bebas sehingga perlu adanya antioksidan yang diperoleh dari makanan. Sumber antioksidan yang diperoleh dari makanan dan dapat dimanfaatkan oleh manusia dibedakan menjadi antioksidan sintetis dan antioksidan alami (Yuswantina, 2009).

Antioksidan sintetis adalah antioksidan yang diperoleh dari hasil sintesis reaksi kimia. Contoh dari antioksidan sintetis yaitu senyawa fenol sintetis Butil hidroksianisol (BHA) dan Butil hidroksitoluen (BHT). Antioksidan sintetis pada umumnya bukan antioksidan yang baik karena jika dikonsumsi dalam waktu panjang dapat menyebabkan efek negatif bagi tubuh (Yuswantina, 2009). Beberapa antioksidan sintetis yang sering digunakan antara lain Butylated hydroxyanisole, Butylated hydroxytoluene, Propylgallate (PG), dan Nordihidroquairitic (NDGA). Penambahan antioksidan sintetis harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu tidak berbahaya untuk kesehatan, tidak menimbulkan warna yang mencolok, efektif pada konsentrasi rendah, larut pada lemak, mudah didapat, dan ekonomis (Andriyanti, 2009).

Antioksidan alami merupakan antioksidan yang diperoleh dari hasil ekstraksi bahan alami (Astuti, 2008). Antioksidan alami

memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan antioksidan sintetik dan juga efek samping yang ditimbulkan lebih kecil, seperti tokoferol dan asam askorbat (Yuswantina, 2009). Contoh dari antioksidan alami adalah senyawa α -tokoferol, vitamin C atau asam askorbat, resveratrol, flavonoid, dan senyawa-senyawa fenolik. Antioksidan alami pada tumbuhan dapat ditemukan dari bagian akar, kayu, kulit kayu, daun, buah, bunga, biji, serbuk sari, dan dapat tersebar pada bagian tumbuhan lainnya yang dapat dikonsumsi. Senyawa-senyawa antioksidan alami yang umumnya terdapat pada tumbuhan yaitu fenol, polifenol, turunan asam sinamat, tokoferol, asam organik poli fungsi dan golongan senyawa flavonoid seperti flavonol, isoflavon, flavon, katekin, flavonon (Pratt and Hudson, 1990).

2.5 Antioksidan Alami

2.5.1 Bawang Putih (*Allium sativum*)

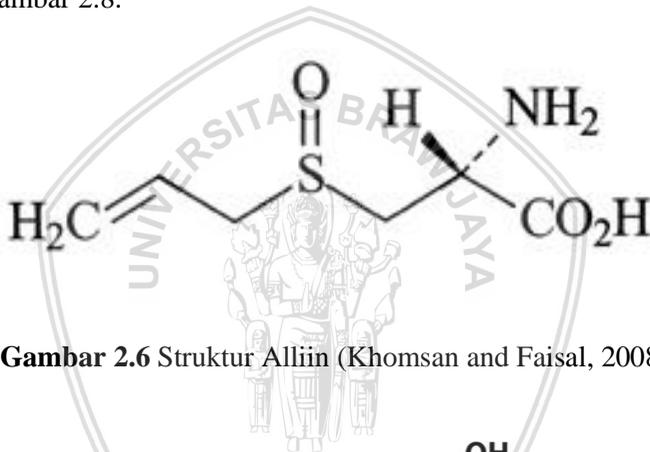
Kedudukan tanaman bawang putih secara botanis dapat dilihat pada sistematika berikut ini (Samadi and Cahyono, 2005),

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Sub Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Monocotyledoneae
Ordo	: Liliiflorae
Famili	: Liliaceae
Genus	: <i>Allium</i>
Spesies	: <i>A. Sativum</i>

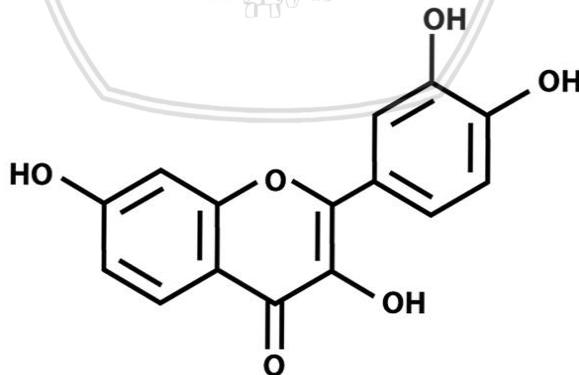


Gambar 2.5 Bawang putih (Samadi and Cahyono, 2005)

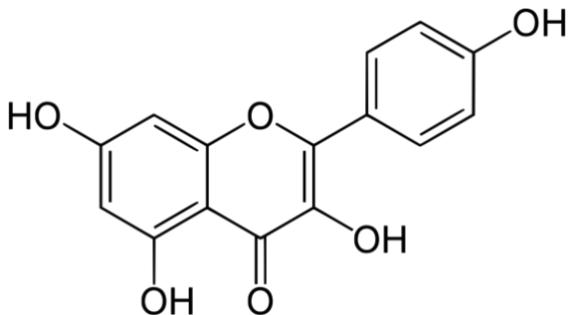
Gambar 2.5 merupakan bawang putih yang memiliki dua komponen zat aktif bersifat sebagai antioksidan yaitu alliin sebanyak 5-10% dan quercetin sebanyak 0,2%. Antioksidan alliin memiliki struktur alifalik dengan rumus kimia $C_6H_{11}NO_3S$ sedangkan pada antioksidan quercetin memiliki struktur aromatik dengan rumus kimia $C_{15}H_{10}O_7$. Alliin memiliki satu gugus hidroksil dan quercetin memiliki lima gugus hidroksil sehingga memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menangkal radikal bebas. Selain alliin dan quercetin, bawang putih memiliki antioksidan lainnya yaitu kaempferol (Khomsan and Faisal, 2008). Struktur Alliin, quercetin, dan kaempferol berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 2.6, Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.6 Struktur Alliin (Khomsan and Faisal, 2008)



Gambar 2.7 Struktur Quercetin (Khomsan and Faisal, 2008)



Gambar 2.8 Struktur Kaempferol (Khomsan and Faisal, 2008)

2.5.2 Bawang Merah (*Allium cepa L.*)

Bawang merah dalam ilmu tumbuhan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Samadi and Cahyono, 2005),

- Divisi : Spermatophyta
- Sub Divisi : angiospermae
- Kelas : Monocotyledoneae
- Ordo : Liliales
- Famili : Liliaceae
- Genus : *Allium*
- Spesies : *Allium cepa L.*



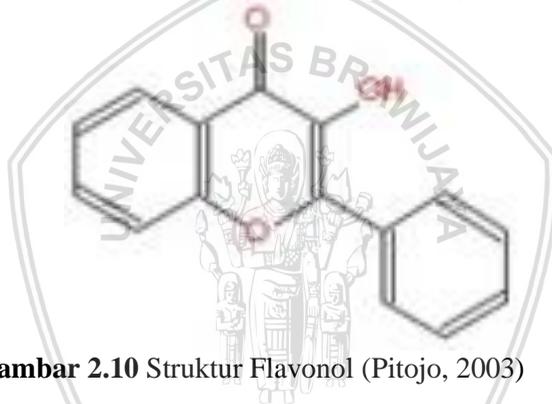
Gambar 2.9 Bawang merah (Samadi and Cahyono, 2005)

Gambar 2.9 adalah bawang merah yang merupakan jenis tanaman sayuran umbi yang bernilai ekonomis tinggi serta memiliki banyak manfaat. Bawang merah dalam 100 g mengandung 39 kalori;



1,5 g protein; 0,3 g lemak; 0,2 g karbohidrat; 36 mg kalsium; 40 mg fosfor; 0,8 mg zat besi; 0,03 mg vitamin B₁; 2 mg vitamin C; dan 88 g air. Selain itu bawang merah juga mengandung senyawa flavonoid yang berperan sebagai antioksidan dan dapat menurunkan kadar kolesterol trigliserida dan gula darah sehingga menghindarkan penyakit jantung koroner (Pitojo, 2003).

Bawang merah mengandung 38,2 mg/kg flavonol. Flavonol termasuk dalam golongan flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan selain flavon, isoflavon, kateksin, dan kalkon. Flavonol merupakan senyawa antioksidan alami yang dapat larut dalam air. Flavonol terdiri dari gugusan glycon (gula) dan gugusan aglycon (tanpa gula). Flavonol mempunyai berat molekul 222,24 dan titik lebur 97-98,5°C. Struktur flavonol ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Flavonol (Pitojo, 2003)

2.5.3 Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*)

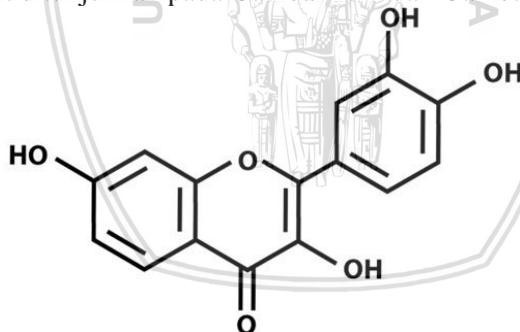
Cabai rawit dalam ilmu tumbuhan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Cahyono, 2003),

Divisi	: Spermatophyta
Sub Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Corolloforea
Famili	: Solanaceae
Genus	: Capsicum
Spesies	: <i>Capsicum frutescens L.</i>

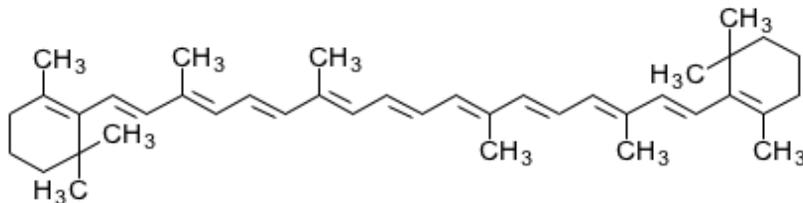


Gambar 2.11 Cabai Rawit (Cahyono, 2003)

Gambar 2.11 merupakan cabai rawit, tumbuhan ini dalam 100 g memiliki kandungan 103 kalori; 4,7 g protein; 2,4 g lemak; 19,9 g karbohidrat; 45 mg kalsium; 85 mg fosfor; 2,5 mg zat besi; 11.050 SI vitamin A; 0,24 mg vitamin B1; 70 mg vitamin C; dan 71,2 g air (Cahyono, 2003). Cabai rawit selain itu juga mempunyai kandungan antioksidan flavonoid dan β -karoten. Struktur flavonoid dan β -karoten berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13.



Gambar 2.12 Struktur Flavonoid (Suryana, 2013)



Gambar 2.13 Struktur β -karoten (Suryana, 2013)

2.5.4 Tomat (*Lycopersicon esculentum*)

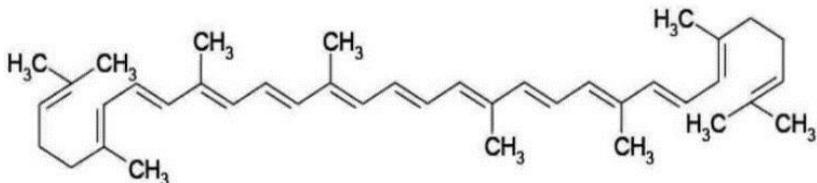
Kedudukan tomat secara botanis dapat dilihat pada sistematika berikut ini (Wiryanta, 2002),

Divisi	: Spermatophyta
Sub Divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotylodena
Ordo	: tubiflorae
Famili	: Solanaceae
Genus	: Lycopersicum
Spesies	: <i>Lycopersicum esculentum</i> L.



Gambar 2.14 Tomat (Wiryanta, 2002)

Gambar 2.14 adalah tomat yang merupakan sayuran yang multi guna dan multi fungsi. Tomat didayagunakan terutama untuk bumbu masakan setiap hari. Tomat dalam 100 g mengandung 20 kalori; 1 g protein; 0,3 g lemak; 4,2 g karbohidrat; 5 g kalsium; 27 g fosfor; 0,5 g zat besi; 1500 SI vitamin A; 0,06 mg vitamin B1; 40 mg vitamin C; dan 94 g air (Wiryanta, 2002). Tomat merupakan sumber antioksidan alami. Tomat mengandung likopen yang cukup tinggi. Selain memberikan warna merah pada tomat, likopen terbukti efektif sebagai antioksidan dalam menangkal radikal bebas. Struktur dari likopen dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Struktur Likopen (Wiryanta, 2002)

2.5.5 Kemangi (*Ocimum basilicum*)

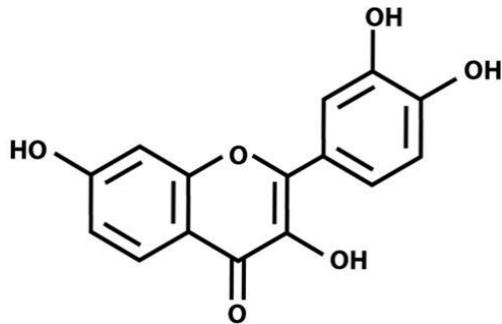
Kedudukan kemangi secara botanis dapat dilihat pada sistematika berikut ini (Yuwono, 2012),

Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Lamiales
Famili	: Lamiaceae
Genus	: <i>Ocimum</i>
Spesies	: <i>Ocimum basilicum</i>

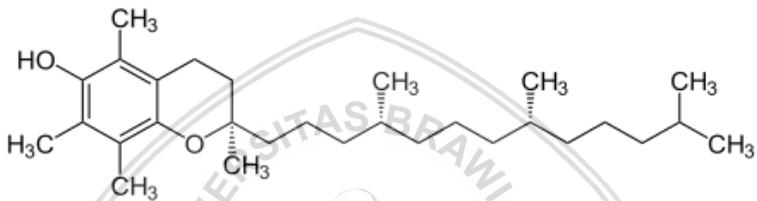


Gambar 2.16 Kemangi (Yuwono, 2012)

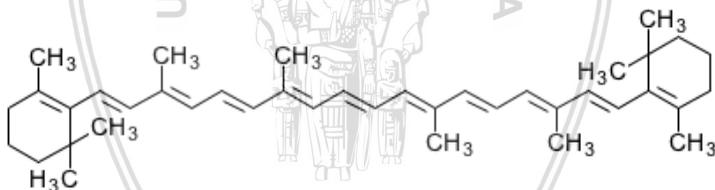
Gambar 2.16 merupakan kemangi, tumbuhan ini dalam 100 g mengandung 43 kalori; 3,3 g protein; 1,2 g lemak; 7 g karbohidrat; 32 g kalsium; 38 g fosfor; 4,8 mg zat besi; 4500 μ g β -karoten; 0,008 mg thiamin; 0,35 mg riboflavin; 0,08 mg niasin; dan 27 mg asam askorbat. Selain mengandung zat gizi, kemangi juga mengandung antioksidan alami seperti asam askorbat (vitamin C), β -karoten, tokoferol (vitamin E), senyawa fenolik (flavonoid, asam fenolat), senyawa nitrogen (alkaloid, turunan klorofil, asam amino, dan amina), eugenol, asam palmitat dan asam ursolic (Basith, 2012). Flavonoid dapat berperan sebagai penangkal radikal bebas OH sehingga tidak dapat mengoksidasi lemak, protein, dan DNA dalam sel (Ikhlas, 2013). Vitamin E dan β -karoten dalam kemangi sebagai pertahanan utama dalam melawan radikal bebas dan peroksidasi lipid dalam jaringan hati. Struktur dari flavonoid, tokoferol (vitamin E), dan β -karoten dapat dilihat pada Gambar 2.17, Gambar 2.18, dan Gambar 2.19.



Gambar 2.17 Struktur Flavonoid (Basith, 2012)



Gambar 2.18 Struktur Tokoferol (Basith, 2012)



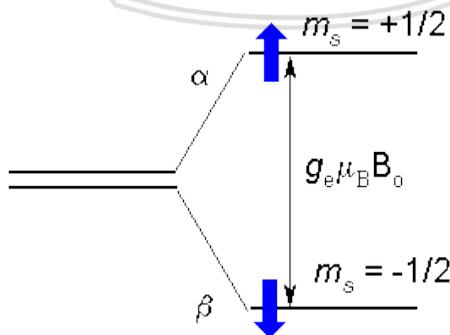
Gambar 2.19 Struktur β -karoten (Basith, 2012)

2.6 ESR (*Electron Spin Resonance*)

Spektroskopi *Electron Spin Resonance* (ESR) merupakan salah satu teknik untuk mengetahui senyawa yang memiliki elektron tidak berpasangan. Senyawa tidak berpasangan dapat meliputi radikal bebas organik, senyawa radikal bebas anorganik maupun senyawa kompleks anorganik yang mempunyai ion logam transisi. Radikal bebas umumnya memproduksi elektron tidak berpasangan turunan elektron yang dihasilkan oleh kerusakan radiasi dari pengion (Syarifah, Muthmainnah and Mulyono, 2014). ESR merupakan suatu metode untuk mengetahui aktivitas radikal bebas dengan cara mengamati

medan magnet (B) saat elektron dari radikal bebas beresonansi dengan radiasi elektromagnetik (Nurjannah, Retnowati and Juswono, 2013). Teknik dari ESR adalah diperoleh karakteristik keadaan terlokalisasi dengan cara mengetahui keadaan dan densitas spin elektron yang tidak berpasangan (*unpaired*) (Saleh, 2002). Spin dan momen magnetik dari elektron tidak berpasangan ini yang menjadi dasar dari ESR. Secara rinci, analisis dari spektrum ESR memungkinkan untuk melihat struktur kimia dari suatu radikal bebas. Resonansi magnetik adalah suatu peristiwa ketika spin-spin magnetik dari atom-atom tertentu menyerap frekuensi tertentu yang mengalami medan magnet bolak-balik pada frekuensi yang sama dengan frekuensi alami dari system (Syarifah, Muthmainnah and Mulyono, 2014).

Elektron adalah partikel bermuatan sehingga ketika suatu elektron bergerak mengelilingi inti atom maka elektron tersebut akan memiliki momentum sudut. Orientasi momentum sudut elektron berbeda ketika elektron berada didalam medan menunjukkan bahwa garis spektrum atomik telah terpecah, peristiwa ini dapat disebut dengan Efek Zeeman. Efek Zeeman terjadi ketika terdapat pengaruh dari medan magnet eksternal, semakin besar pengaruh dari medan magnet eksternal maka elektron akan berotasi pada porosnya sehingga mengakibatkan Efek Zeeman anomali dimana garis spektrum akan terpecah menjadi lebih banyak. Rotasi (spin elektron) menghasilkan momentum sudut intrinsik elektron. Momentum sudut spin memiliki dua orientasi berbeda, yaitu spin up dan spin down. Spin elektron pada tiap orientasi memiliki energi yang berbeda sehingga terlihat sebagai garis spektrum yang terpisah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Garis spektra atom yang terpisah (Levitt, 2008)

Beda energi diantara kedua spin elektron (ΔE) dapat dilihat pada Persamaan 2.1 (Saputro, Juwono and Widodo, 2013),

$$\Delta E = g\mu_B B \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

g = faktor lande (2,0023 J/T)

μ_B = magneton Bohr ($9,274078 \times 10^{-24}$ J/T)

B = medan magnet eksternal

Besar medan magnet (B) eksternal pada ESR Leyborld Heracus menggunakan Persamaan 2.2 (Cristiya, Yudi and Juswono, 2013),

$$B = \mu_0 \frac{4}{5} \frac{n}{r} I \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

$\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6}$ T.m/A

n = jumlah lilitan pada kumparan Helmholtz ($n = 320$)

r = jari-jari kumparan Helmholtz ($r = 6,8$ cm)

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

B = medan magnet eksternal (T)

Penyerapan resonansi energi elektromagnetik akibat partikel elektron yang berputar pada medan magnet yang kuat adalah dasar dari ESR. Kondisi resonansi akan terpenuhi jika $\varepsilon = \Delta E$ dimana besar $\varepsilon = hf$ yang merupakan energi gelombang elektromagnetik dan ΔE adalah beda energi diantara kedua spin elektron sehingga seperti pada Persamaan 2.3 (Fauziah, Juswono and Herwiningsih, 2012),

$$hf = g\mu_B B \dots\dots\dots 2.3$$

dengan $\varepsilon = \Delta E$ maka dapat diketahui bahwa rumusan tersebut untuk g atau faktor lande dapat ditulis dengan Persamaan 2.4 (Fauziah, Juswono and Herwiningsih, 2012),

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

h = konstanta plank ($6,625 \times 10^{-34}$ Js)

f = frekuensi resonansi (Hz)

μ_B = magneton Bohr ($9,273 \times 10^{-24}$ J/T)

B = medan magnet eksternal (T)

Faktor-g atau faktor lande merupakan faktor penghubung antara frekuensi radiasi dengan medan magnet yang digunakan pada resonansi dan diperlukan untuk menghitung pemisahan relatif tingkat energi yang berbeda dalam medan magnet lemah. Nilai faktor-g untuk elektron tak berpasangan pada atom, molekul-molekul dan kristal-



kristal tergantung pada struktur elektronnya. Faktor-g merupakan salah satu dari karakteristik bahan (Ranby and Rabek, 2012). Nilai faktor-g dapat ditentukan oleh frekuensi presisi dari elektron tak berpasangan pada suatu molekul. Faktor-g dapat memberikan informasi tentang jenis dari suatu radikal bebas (Saputro, Juwono and Widodo, 2013). Faktor-g berbeda untuk setiap jenis radikal bebas (Kiselev, Ivchenko and Rossler, 1998). Jenis radikal bebas berdasarkan nilai faktor-g ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Nilai Faktor-g (Gerson and Huber, 2006)

Nama Radikal Bebas	Nilai Faktor-g
O	1,50100
O_2^-	1,50100-1,75000
Fe^{3+}	1,77000
MnO_2	1,83670
FeS	1,86000
Hidroperoxida	1,98960
CO_2^-	1,99600
Cu	1,99700
SO_4^-	1,99760
Hidroxy	2,00047
CO_2	2,00070
Alkoxy	2,00160
Helium	2,00200
Methanol	2,00205
Alkyl	2,00206
Hydrogen	2,00232
Methyl	2,00255
DPPH	2,00360
SO_3^-	2,00370
Ethyl	2,00440
C	2,00505
Peroxy	2,01550
O_2	2,03560
CuOx	2,09800
$CuGeO_3$	2,15400
$YBa_2Cu_3O_7$	2,24000
Cu-HA	2,28900
Hg	4,00000

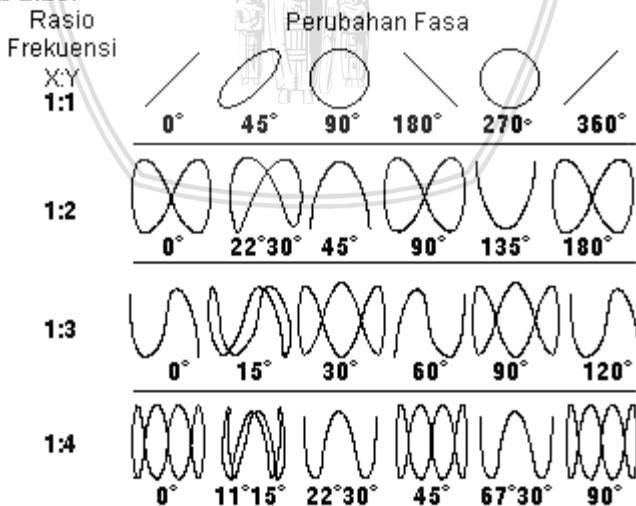
Kurva yang ditampilkan pada osiloskop ESR merupakan kurva lissajous. Kurva lissajous adalah kurva perpaduan antara dua gelombang. Kurva tersebut mencitrakan perbedaan (perbandingan) antara beda fase, frekuensi dan amplitudo dari dua gelombang. Frekuensi merupakan suatu besaran yang menyatakan banyaknya gelombang yang terjadi pada setiap detik, frekuensi memiliki besaran dalam satuan Hz. Amplitudo adalah simpangan terjauh dari suatu gelombang atau sebagai nilai puncak (maksimum positif) dari sebuah gelombang sinusoidal. Beda fase adalah perbedaan sudut mulai antara dua gelombang sinusoidal atau perbedaan waktu dua buah gelombang yang mempunyai frekuensi sama dalam beresilasi (Hartono, 2015).

Kurva lissajous memiliki parameter dalam pemetakan dua gelombang. Parameter yang dimiliki kurva lissajous dapat dilihat pada Persamaan 2.5 dan Persamaan 2.6.

$$x = A \sin(\theta + \varphi) \dots\dots\dots 2.5$$

$$y = B \sin \theta \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan x dan y merupakan gelombang sinusoidal yang dipetakan pada kurva lissajous. Bentuk pola kurva lissajous yang muncul pada osiloskop dibentuk dari dua gelombang yang saling tegak lurus dan mempunyai perbandingan frekuensi. Beberapa pola kurva lissajous dengan perbandingan frekuensi dan beda fase dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Pola Kurva Lissajous (Hartono, 2015)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

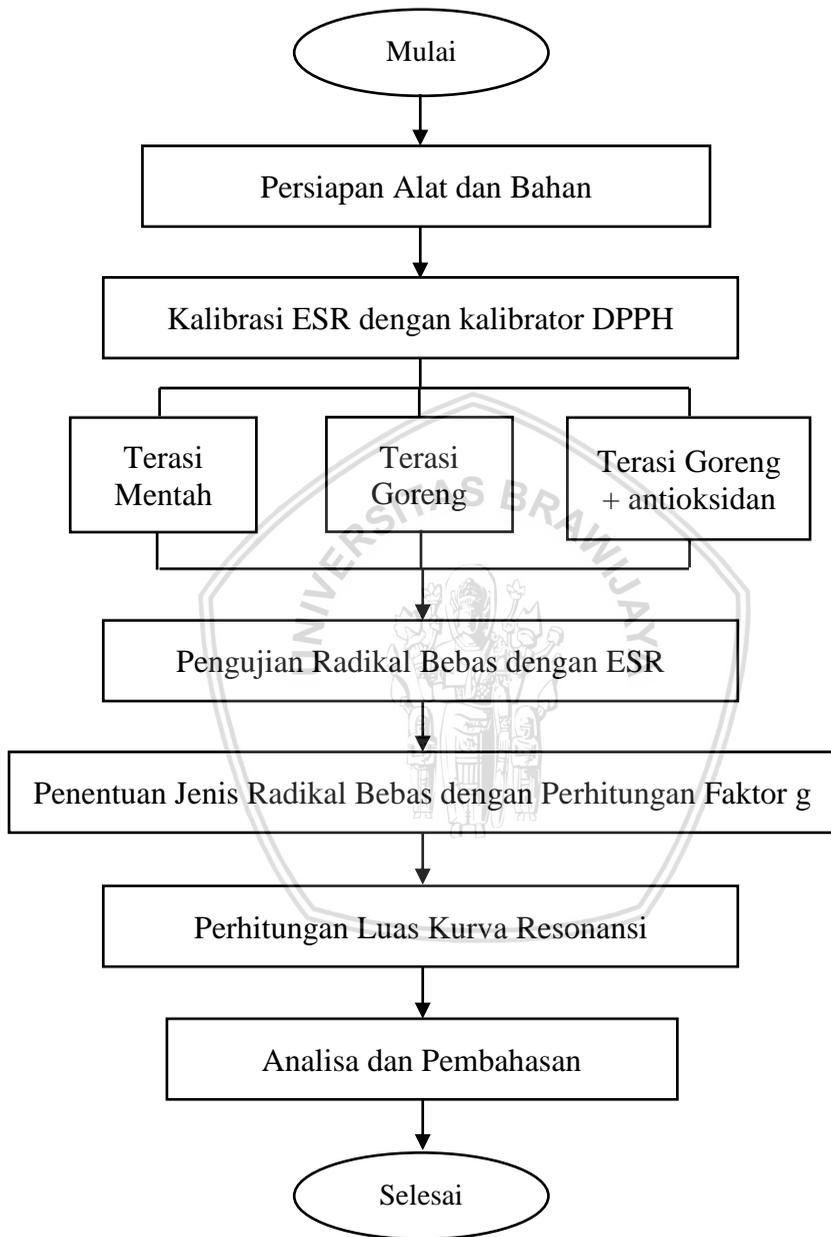
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2017 sampai dengan bulan Maret 2018 di Laboratorium Biofisika dan Laboratorium Fisika Lanjutan Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain alat uji ESR (*Electron Spin Resonance*) yang terdiri dari ESR unit, pengendali ESR, osiloskop, multimeter, solenoid untuk tempat sampel, dua buah kumparan Helmholtz dan beberapa kabel penghubung. Selain itu, digunakan alat untuk penggorengan terasi dan pembuatan antioksidan yang meliputi neraca digital, kompor listrik, teflon, saringan, wadah, petri, pisau, gelas ukur, gelas kimia, pipet tetes, tabung durham, spatula stainless, termometer digital, *juicer*, cobek, tusuk gigi, kertas label, tisu dan plastik. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kalibrator DPPH, terasi udang, minyak goreng, bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat, kemangi dan aquades.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah persiapan alat dan bahan, kalibrasi alat dengan kalibrator DPPH, terasi udang yang ditimbang seberat 5 gram dan digoreng dengan variasi waktu yaitu 1 menit, 2 menit dan 3 menit dengan suhu yang konstan (130° - 150°), pengujian radikal bebas pada terasi tanpa diberi antioksidan alami, pengujian radikal bebas pada terasi yang diberi bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi yang sudah dihaluskan sebagai antioksidan alami menggunakan alat uji ESR kemudian analisis data. Metode penelitian ditunjukkan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



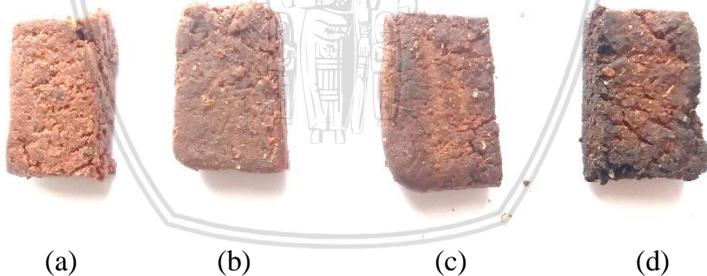
3.4 Tahap Penelitian

3.4.1 Persiapan Sampel

Persiapan sampel pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap. Tahapan tersebut terdiri dari tahap persiapan bahan, tahap penggorengan terasi, tahap pembuatan antioksidan (bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi) dan tahap pengelompokan terasi. Bahan-bahan yang digunakan dalam persiapan sampel ini adalah terasi, bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat, daun kemangi, minyak goreng dan aquades.

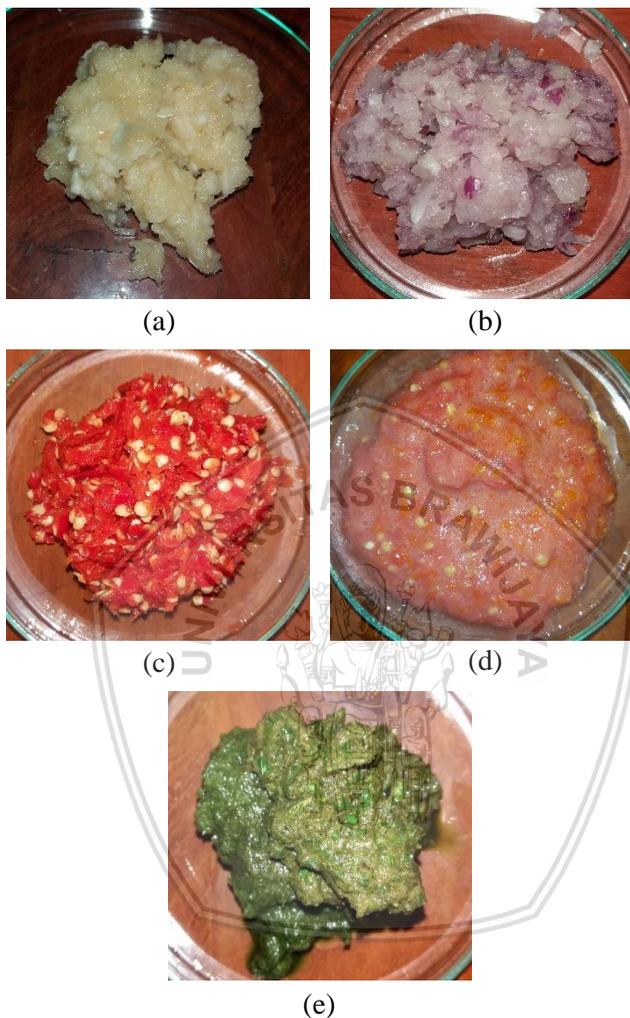
Tahap persiapan bahan adalah dipersiapkan terasi yang sudah dibeli di salah satu pasar tradisional. Selain itu juga mempersiapkan bahan antioksidan seperti bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan kemangi. Kemudian juga dipersiapkan minyak goreng untuk penggorengan terasi.

Tahap selanjutnya adalah tahap penggorengan terasi, yaitu 25 gram terasi digoreng di kompor listrik dengan minyak goreng sebanyak 50 ml. Temperatur yang digunakan adalah relatif konstan, yaitu 130° - 150° . Tahap penggorengan terasi ini digunakan variasi waktu yaitu 1 menit, 2 menit dan 3 menit seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Terasi (a) Mentah, (b) Goreng 1 Menit, (c) Goreng 2 Menit dan (d) Goreng 3 Menit

Tahap berikutnya adalah tahap pembuatan antioksidan. Antioksidan yang digunakan berupa ekstrak dari bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi. Pembuatan ekstrak antioksidan yaitu dengan cara dihaluskan menggunakan *juicer* seperti pada Gambar 3.3.



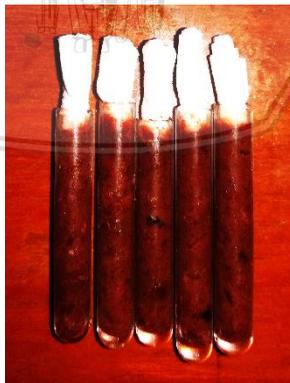
Gambar 3.3 Gambar Ekstrak Antioksidan (a) Bawang Putih, (b) Bawang Merah, (c) Cabai Rawit, (d) Tomat dan (e) Daun Kemangi

Antioksidan yang sudah dihaluskan selanjutnya ditimbang dengan variasi massa, yaitu 1 gram, 2 gram, 3 gram, 4 gram dan 5 gram. Massa antioksidan kemudian dijadikan dalam bentuk konsentrasi. Konsentrasi antioksidan didefinisikan dengan banyaknya

massa antioksidan terhadap massa total (antioksidan dan terasi). Konsentrasi antioksidan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$\text{massa (\%)} = \frac{\text{massa antioksidan}}{\text{massa antioksidan} + \text{massa terasi}} \times 100\% \dots\dots 3.1$$

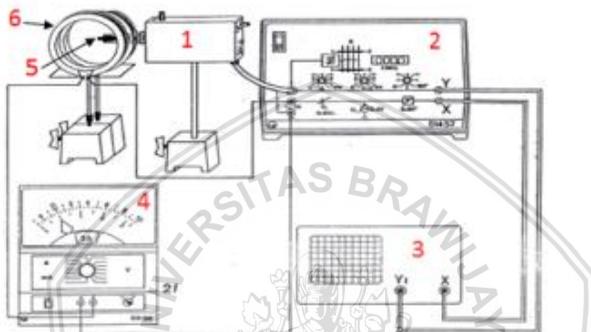
Tahap terakhir adalah tahap pengelompokan terasi. Pengelompokan terasi ditinjau pada variasi waktu penggorengan yaitu 1 menit, 2 menit dan 3 menit yang tiap waktunya terdiri dari beberapa bagian, yaitu terasi tanpa diberi antioksidan (kontrol), terasi diberi antioksidan bawang putih, terasi diberi antioksidan bawang merah, terasi diberi antioksidan cabai rawit, terasi diberi antioksidan tomat dan terasi diberi antioksidan daun kemangi dengan konsentrasi massa masing-masing antioksidan sebesar 1 gram, 2 gram, 3 gram, 4 gram dan 5 gram (17%, 29%, 38%, 44% dan 50%). Pengelompokan terasi dibuat sebanyak 5 kali pengulangan dalam pembuatan sampel sehingga jumlah sampel seluruhnya adalah 395 buah sampel. Terasi yang tidak diberi antioksidan dapat langsung dimasukkan ke dalam tabung durham. Terasi yang diberi antioksidan dengan variasi massa (1 gram, 2 gram, 3 gram, 4 gram dan 5 gram) dan digoreng selama variasi waktu (1 menit, 2 menit dan 3 menit) didiamkan terlebih dahulu selama 10 menit, kemudian dimasukkan ke tabung durham seperti Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Sampel pada Tabung Durham

3.4.1 Persiapan dan kalibrasi alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat ESR (*Electron Spin Resonance*) sebagai pendeteksi radikal bebas. ESR yang digunakan bertipe Leybold Heracus. ESR tipe ini dapat mendeteksi radikal bebas dengan frekuensi berkisar antara 13 MHz – 130 MHz dengan arus maksimal yang mengalir pada kumparan sebesar 0,2 Ampere. Seperangkat alat ERS pada penelitian ini harus dirangkai terlebih dahulu, rangkaian alat ESR dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Keterangan:

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1. ESR Unit | 4. Multimeter |
| 2. Pengendali ESR | 5. Kumparan Solenoid |
| 3. Osiloskop | 6. Kumparan Helmholtz |



Gambar 3.5 Rangkaian Alat ESR Leybold-Heracus

Alat ESR pada penelitian ini sebelum digunakan untuk pengujian deteksi radikal bebas harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi bertujuan untuk diperolehnya keakuratan pengujian dari alat ESR. Kalibrasi alat ESR tersebut digunakan kalibrator DPPH. Langkah dalam pengkalibrasian alat yaitu dirangkai alat ESR sesuai dengan Gambar 3.5, kemudian kalibrator DPPH diletakkan pada kumparan solenoid (kumparan RF) untuk mengkalibrasi. Langkah selanjutnya yaitu diatur arus pada multimeter, selain itu juga diatur frekuensi pada pengendali ESR hingga terjadi impuls resonansi magnetik. Pengendali ESR memiliki tombol untuk mengatur beda fase kedua gelombang yang ditampilkan pada osiloskop, tombol ini dapat diubah-ubah sehingga diperoleh resonansi kedua gelombang simetris yang gambarnya osiloskopnya berupa kurva resonansi. Setelah diketahui gelombang kurva resonansi pada osiloskop maka dapat dicatat nilai arus dan frekuensinya yang kemudian diperoleh nilai faktor-g DPPH dengan perhitungan. Nilai faktor-g inilah yang selanjutnya dibandingkan dengan literatur untuk diketahui jenis radikal bebas dari pendeteksian sampel dengan menggunakan alat ESR.

3.4.2 Pendeteksian radikal bebas menggunakan ESR

Pengujian radikal bebas pada setiap sampel yaitu sampel dimasukkan ke dalam kumparan solenoid (kumparan RF). Selanjutnya diatur arus dan frekuensi yang sesuai sehingga diperoleh resonansi dari 2 gelombang yang membentuk kurva lissajous (resonansi). Kemudian dicatat nilai arus dan frekuensi yang didapat untuk ditentukan nilai faktor-g pada setiap pengujian sampel.

Sampel diletakkan pada kumparan solenoid yang berada diantara kumparan Helmholtz. Kedua kumparan ini memiliki peranan penting dalam pendeteksian radikal bebas dari sampel. Kumparan solenoid pada alat ESR ini memancarkan radio frekuensi yang kemudian energinya diserap oleh elektron radikal bebas pada sampel. Kemudian kumparan Helmholtz pada alat ESR ini memancarkan medan magnet yang bertujuan untuk memecah spin elektron. Perpaduan antara kumparan solenoid dan kumparan Helmholtz inilah yang menyebabkan terjadinya eksitasi dan deeksitasi dari elektron radikal bebas. Peristiwa ini juga bisa disebut dengan resonansi antara energi radio frekuensi yang terserap oleh radikal bebas dan medan magnet yang dipancarkan oleh kumparan Helmholtz.

3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian radikal bebas pada ESR ini adalah sinyal resonansi yang ditunjukkan pada osiloskop. Data tersebut berupa data arus yang mengalir pada kumparan dan frekuensi pada setiap sampel. Arus dan frekuensi yang diperoleh digunakan untuk menghitung besarnya medan magnet. Besar medan magnet dari pengujian radikal bebas pada ESR dapat diperoleh dari perhitungan menggunakan Persamaan 3.2.

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^2 \frac{n}{r} I \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana:

$\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ T.m/A}$

n = jumlah lilitan pada kumparan Helmholtz ($n = 320$)

r = jari-jari kumparan Helmholtz ($r = 6,8 \text{ cm}$)

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

B = medan magnet eksternal (T)

Besar medan magnet yang diketahui dapat digunakan untuk menentukan besarnya nilai faktor-g. Rumusan faktor-g dapat ditulis dengan Persamaan 3.3.

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana:

h = konstanta plank ($6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

f = frekuensi resonansi (Hz)

μ_B = magneton Bohr ($9,273 \times 10^{-24} \text{ J/T}$)

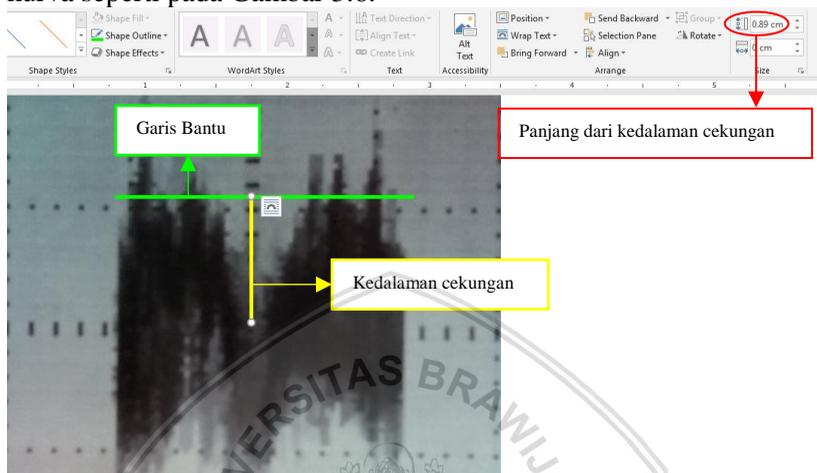
B = medan magnet eksternal (T)

Nilai faktor-g yang diperoleh dapat menunjukkan jenis radikal bebas yang terkandung dalam sampel. Jumlah radikal bebas juga dapat diketahui dengan cara mengukur luas kurva resonansi. Luas kurva resonansi dapat diperoleh dari perhitungan panjang kedalaman cekungan kurva. Pengukuran panjang kedalaman cekungan kurva menggunakan aplikasi *Microsoft Word* dengan bantuan *Line* yang terletak di grup *Shapes*.

Proses pengukuran kedalaman cekungan kurva pada *Microsoft Word* dimulai dengan cara dipotong gambar kurva hingga terbentuk segi empat. Langkah selanjutnya diatur panjang gambar kurva menjadi $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ (1 div diasumsikan 1 cm), kemudian hasil gambar potongan diperbesar hingga 500% untuk mempermudah perhitungan. Langkah berikutnya dibuat *Line* horizontal dan vertikal.



Line horizontal diletakkan dipermukaan atas kurva dengan ditarik dari tepi kiri hingga ke tepi kanan kurva. *Line* vertikal di letakkan di tengah-tengah *Line* horizontal dan ditarik hingga dasar cekungan kurva seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Perhitungan Kedalaman Kurva Resonansi dengan Microsoft Word

Hasil garis lurus vertikal yang terukur pada *Format-Size* dicatat dan dilakukan perhitungan dengan *Microsoft Excel*, yaitu hasil pengukuran panjang kedalaman cekungan kurva dikuadratkan untuk diketahui perbandingan energi dengan intensitas kuadrat waktu pemaparan. Perbandingan ini menjelaskan bahwa semakin besar intensitas pemaparan maka akan semakin dalam cekungan pada kurva resonansi.

Hasil perhitungan luas kurva resonansi pada setiap sampel berbeda beda sehingga nilainya dapat dibandingkan dalam bentuk prosentase. Data-data yang diperoleh kemudian dibuat dalam bentuk grafik dengan komponen sumbu x adalah prosentase konsentrasi antioksidan dan komponen sumbu y adalah kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Grafik tersebut dapat menunjukkan pemberian konsentrasi antioksidan paling efektif dalam menurunkan kandungan radikal bebas.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Kalibrasi Perangkat ESR (*Electron Spin Resonance*)

ESR (*Electron Spin Resonance*) merupakan alat untuk mendeteksi radikal bebas pada suatu bahan. Perangkat ESR yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat ESR dengan tipe Leybod Heracus. Alat ESR terlebih dahulu dikalibrasi dengan kalibrator DPPH (*diphenyl picrylhydrazyl*) sebelum digunakan untuk deteksi radikal bebas pada suatu bahan. Kalibrasi merupakan pengaturan (pengecekan) akurasi dari alat ukur dengan cara membandingnya dengan nilai standar (tolak ukur). Kalibrasi diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya. DPPH merupakan kalibrator berupa radikal bebas yang bersifat stabil. Hasil pengukuran kalibrasi DPPH dapat dilihat pada Tabel 4.1.

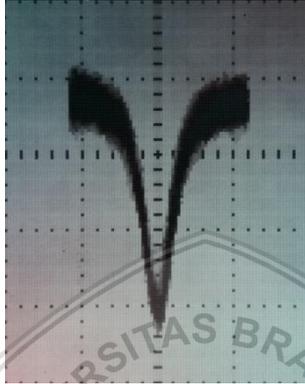
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kalibrasi DPPH

F (MHz)	I (A)	B (T)	Faktor-g Literatur	Faktor-g Eksperimen	Faktor Kalibrasi
23,8	0,200	0,00085	2,0036	2,0093	0,9972
23,7	0,199	0,00084	2,0036	2,0109	0,9964
23,5	0,198	0,00084	2,0036	2,0040	0,9998
23,4	0,197	0,00083	2,0036	2,0056	0,9990
23,3	0,196	0,00083	2,0036	2,0072	0,9982
23,2	0,195	0,00083	2,0036	2,0088	0,9974
23,1	0,194	0,00082	2,0036	2,0105	0,9966

Pada Tabel 4.1 ditunjukkan bahwa nilai faktor-g eksperimen DPPH diperoleh antara 2,0040-2,0109 yang mendekati nilai faktor-g literatur DPPH yaitu sebesar 2,0036, sehingga didapatkan faktor kalibrasi sebesar 0,9964-0,9998. Nilai faktor kalibrasi yang mendekati angka 1 menunjukkan bahwa alat ESR masih berfungsi secara normal dan dapat digunakan untuk mendeteksi radikal bebas pada suatu bahan. Faktor kalibrasi DPPH digunakan untuk menguji ketepatan nilai faktor-g yang ditampilkan alat ERS dengan nilai faktor-g yang sesungguhnya, sehingga nilai faktor-g eksperimen pada bahan harus

dikalikan dengan faktor kalibrasi DPPH untuk mengetahui faktor-g sesungguhnya dari bahan.

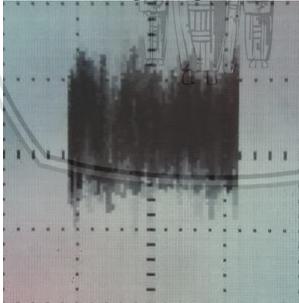
Hasil pengukuran kalibrasi alat ESR menggunakan kalibrator DPPH menunjukkan gambar berupa kurva resonansi simetris pada osiloskop yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva Resonansi DPPH

4.1.2 Hasil Kurva Resonansi Tanpa Radikal Bebas

Pengukuran radikal bebas pada tabung durham kosong (tanpa sampel) menggunakan alat ESR (*Electron Spin Resonance*) akan menghasilkan kurva resonansi seperti pada Gambar 4.2.



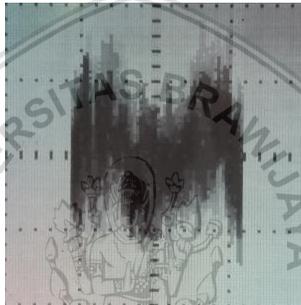
Gambar 4.2 Kurva Resonansi Tanpa Radikal Bebas

Kurva resonansi menghasilkan kurva datar pada semua range frekuensi, hal ini menunjukkan bahwa tabung durham tanpa berisi sampel tidak memiliki kandungan radikal bebas karena tidak ada elektron yang berinteraksi dengan gelombang *Radio Frequency* (RF) yang diberikan dari alat ESR dan tidak terdapat gelombang RF yang

dipancarkan dari peristiwa deeksitasi elektron karena memang tidak terjadi proses eksitasi dan deeksitasi elektron.

4.1.3 Hasil Radikal Bebas pada Terasi Mentah dan Tanpa Antioksidan

Terasi mentah (belum digoreng) dan belum diberi antioksidan diuji terlebih dahulu dengan seperangkat ESR, hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari terasi mentah. Pengujian ESR bertujuan untuk mendeteksi ada atau tidaknya radikal bebas pada terasi mentah. Pengukuran radikal bebas pada terasi mentah didapatkan hasil berupa kurva berbentuk cekung pada bagian tengah seperti pada Gambar 4.3.

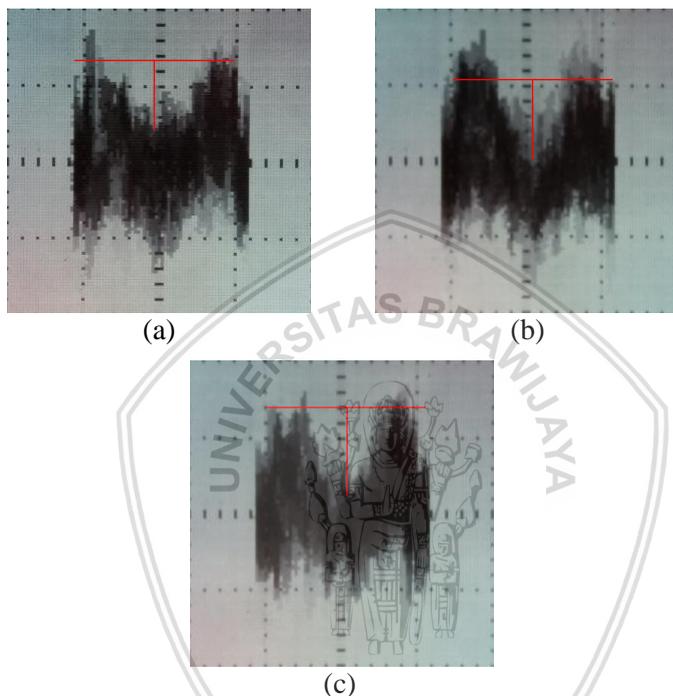


Gambar 4.3 Kurva Resonansi pada Terasi Mentah

Gambar 4.3 menjelaskan bahwa terasi mentah memiliki kandungan radikal bebas, hal ini ditunjukkan pada kedalaman kurva yang dangkal sebesar 0,3 cm. Kedalaman kurva dikarenakan adanya resonansi elektron bebas pada terasi mentah dengan medan magnet. Radikal bebas pada terasi mentah disebabkan karena proses pembuatannya. Pembuatan terasi ini tidak lepas dari penyimpanan di udara dan penjemuran terhadap sinar matahari. Penyimpanan yang cukup lama dapat membuat terasi menjadi teroksidasi yaitu peristiwa terlepasnya elektron pada terasi dan penjemuran dibawah terik matahari dapat menyebabkan terasi terpapar sinar ultraviolet yang merupakan salah satu radiasi dari gelombang elektromagnetik, hal tersebut yang dapat menjadikan terasi mentah sudah memiliki kandungan radikal bebas.

4.1.4 Hasil Radikal Bebas pada Terasi Matang dan Tanpa Antioksidan

Terasi matang dengan penggorengan 1 menit, 2 menit dan 3 menit tanpa pemberian antioksidan menghasilkan kurva resonansi seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kurva Resonansi pada Terasi Matang (a) 1 menit, (b) 2 menit, (c) 3 menit

Kurva resonansi pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa terdapat kandungan radikal bebas pada terasi goreng. Radikal bebas ini terbentuk pada frekuensi tertentu. Frekuensi yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai faktor-g. Nilai faktor-g yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengetahui jenis radikal bebas pada terasi goreng dengan dibandingkan berdasarkan nilai faktor-g pada literatur. Jenis radikal bebas yang terkandung dalam terasi goreng dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Radikal Bebas pada Terasi Matang tanpa Antioksidan berdasarkan 5 kali Percobaan

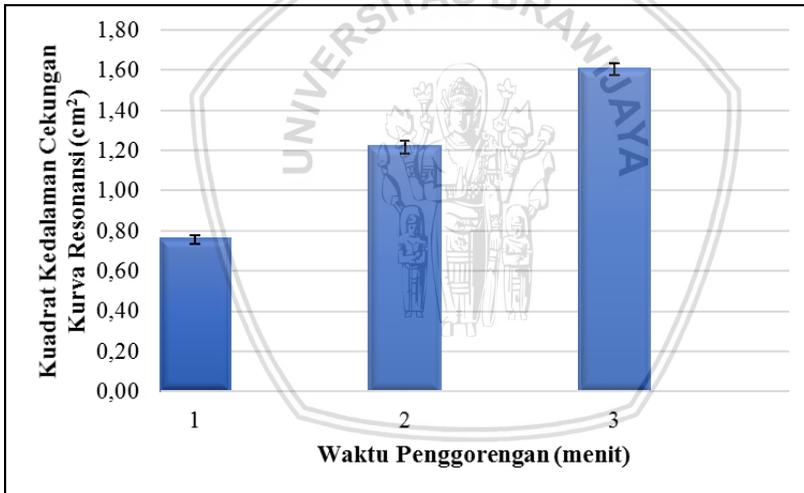
t (menit)	F (MHz)	I (A)	Faktor-g eksperimen	Faktor-g literatur	Jenis Radikal
1	17,6	0,196	1,51345	1,501-1,750	O_2^-
	17,5	0,196	1,50485		
	17,6	0,196	1,51345		
	17,5	0,196	1,50485		
	17,5	0,196	1,50485		
2	17,4	0,194	1,51045	1,501-1,750	O_2^-
	17,3	0,194	1,50177		
	17,4	0,194	1,51045		
	17,4	0,194	1,51045		
	17,4	0,194	1,51045		
3	17,4	0,194	1,50921	1,501-1,750	O_2^-
	17,4	0,194	1,50921		
	17,4	0,194	1,50921		
	17,4	0,194	1,50053		
	17,4	0,194	1,50053		

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa terasi yang digoreng dengan waktu 1 menit, 2 menit dan 3 menit serta tanpa pemberian antioksidan menghasilkan satu jenis radikal bebas yaitu O_2^- dengan nilai faktor-g sebesar 1,501-1,750. Jenis radikal ini diperoleh dari frekuensi (f) saat kurva resonansi terlihat cekung dan pemberian arus (I) yang telah dikalibrasi dengan kalibrator DPPH. Perhitungan frekuensi dan arus dengan menggunakan Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 diperoleh nilai faktor-g yang dapat dilihat pada Lampiran 3. Nilai faktor-g yang sudah didapat kemudian dibandingkan dengan nilai faktor-g literatur seperti pada Tabel 2.5 sehingga dapat diketahui jenis radikal bebas pada terasi goreng.

Kurva resonansi yang dihasilkan selain untuk identifikasi jenis radikal bebas juga dapat digunakan untuk mengetahui kandungan radikal bebas yang terdapat pada terasi goreng. Kandungan radikal bebas dapat diketahui dari kedalaman kurva resonansi. Kedalaman kurva resonansi yang dihasilkan selanjutnya dikuadratkan, sehingga pengukuran kandungan radikal bebas berasal dari kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi.

Tabel 4.3 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi

Waktu (menit)	Kedalaman (cm)	Kuadrat Kedalaman (cm ²)	Rata-rata Kuadrat Kedalaman (cm ²)
1	0,85	0,7225	0,7572
	0,87	0,7569	
	0,89	0,7921	
2	1,08	1,1664	1,2178
	1,10	1,2100	
	1,13	1,2769	
3	1,29	1,6641	1,6047
	1,26	1,5876	
	1,25	1,5625	



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Waktu Penggorengan terhadap Kedalaman Kurva Resonansi

Tabel 4.3 menunjukkan hasil data rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva dengan waktu penggorengan sebesar 1 menit, 2 menit dan 3 menit dan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin lama waktu penggorengan maka akan semakin besar nilai kedalaman cekungan pada kurva resonansi. Nilai kedalaman cekungan kurva resonansi yang semakin tinggi menjadikan kuadrat kedalaman cekungan kurva



resonansi juga semakin besar. Besarnya nilai kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi sebanding dengan besarnya kandungan dari radikal bebas, sehingga semakin lama waktu penggorengan maka akan semakin banyak kandungan radikal bebas pada terasi goreng.

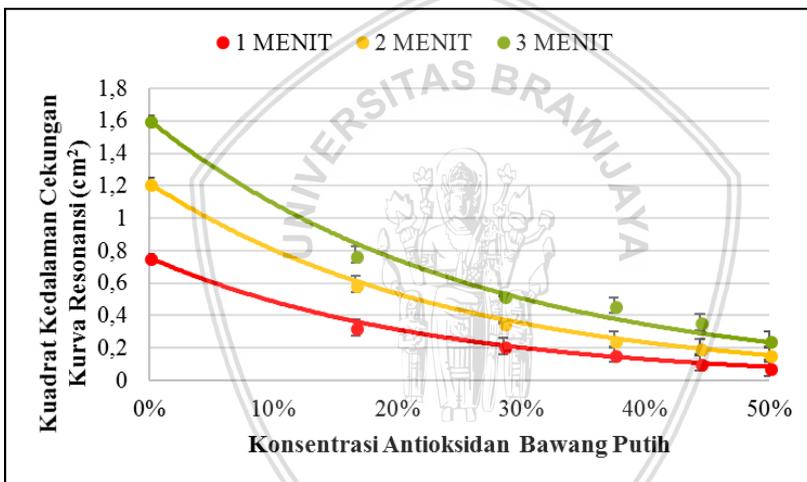
4.1.5 Hasil Radikal Bebas pada Terasi Matang dengan Pemberian Antioksidan

Terasi matang pada penggorengan 1 menit, 2 menit dan 3 menit dengan pemberian antioksidan menghasilkan radikal bebas yang sama seperti terasi matang tanpa pemberian antioksidan, yaitu O_2^- . Pemberian antioksidan ini hanya berpengaruh pada penurunan kandungan radikal bebas yang ada pada terasi goreng. Antioksidan yang digunakan pada penelitian ini adalah bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi. Antioksidan ini dipilih karena nilai ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) yang tinggi. Nilai ORAC merupakan kemampuan antioksidan dalam melawan (menangkal) radikal bebas. Nilai ORAC yang tinggi membuat kandungan radikal bebas semakin sedikit. Nilai ORAC pada bawang putih sebesar 5708 $\mu\text{molTE} / 100\text{g}$, pada bawang merah sebesar 1521 $\mu\text{molTE} / 100\text{g}$, pada cabai rawit sebesar 19671 $\mu\text{molTE} / 100\text{g}$, pada tomat sebesar 546 $\mu\text{molTE} / 100\text{g}$ dan pada daun kemangi sebesar 4805 $\mu\text{molTE} / 100\text{g}$.

Antioksidan pada terasi goreng diberikan dalam bentuk konsentrasi massa. Massa antioksidan yang diberikan sebesar 1 gram, 2 gram, 3 gram, 4 gram dan 5 gram. Massa antioksidan kemudian dijadikan dalam bentuk konsentrasi. Konsentrasi massa antioksidan sebesar 17%, 29%, 38%, 44% dan 50% yang diperoleh dari massa antioksidan terhadap dengan massa total (massa antioksidan + massa terasi goreng) kemudian dijadikan dalam bentuk persentase. Variasi konsentrasi massa antioksidan diberikan untuk mengetahui besarnya pengaruh penurunan kandungan radikal bebas pada terasi goreng. Kandungan radikal bebas yang terbentuk dapat diketahui dari kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang dihasilkan dari pengukuran kedalaman cekungan kurva resonansi.

Tabel 4.4 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Bawang Putih

Antioksidan	Rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva (cm ²)		
	1 menit	2 menit	3 menit
0%	0,7572	1,2178	1,6047
17%	0,3249	0,5929	0,7744
29%	0,2116	0,3541	0,5257
38%	0,1600	0,2500	0,4624
44%	0,1089	0,2025	0,3600
50%	0,0784	0,1600	0,2500



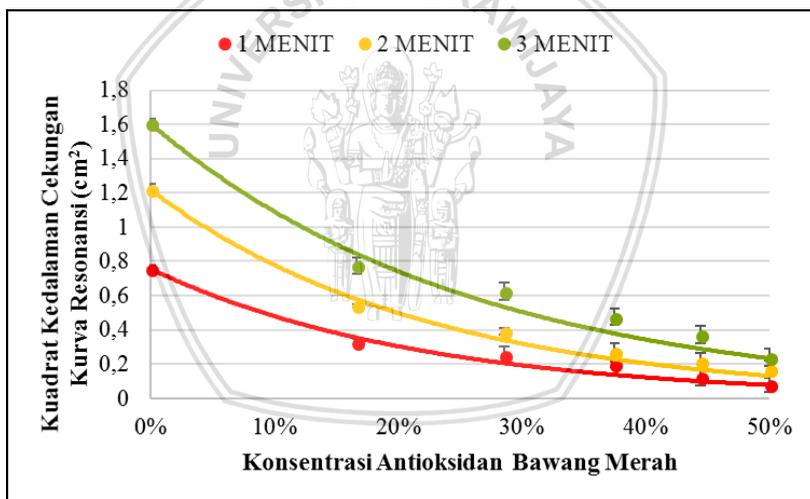
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Antioksidan Bawang Putih terhadap Kandungan Radikal Bebas O₂⁻ pada Terasi Goreng

Tabel 4.4 menunjukkan hasil data rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva dengan pemberian konsentrasi massa antioksidan bawang putih yang berbeda-beda dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pemberian antioksidan bawang putih dapat menurunkan kandungan radikal bebas dengan melihat berkurangnya nilai kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik eksponensial negatif dengan persamaan pada penggorengan 1 menit $y = 0,757e^{-4,42x}$ dengan besar R² sebesar 0,9919, penggorengan 2

menit $y = 1,218e^{-4,127x}$ dengan besar R^2 sebesar 0,9971 dan penggorengan 3 menit $y = 1,605e^{-3,847x}$ dengan besar R^2 0,9763.

Tabel 4.5 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Bawang Merah

Antioksidan	Rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva (cm^2)		
	1 menit	2 menit	3 menit
0%	0,7572	1,2178	1,6047
17%	0,3309	0,5403	0,7056
29%	0,2500	0,3909	0,6241
38%	0,1983	0,2704	0,4761
44%	0,1225	0,2116	0,3721
50%	0,0841	0,1681	0,2401



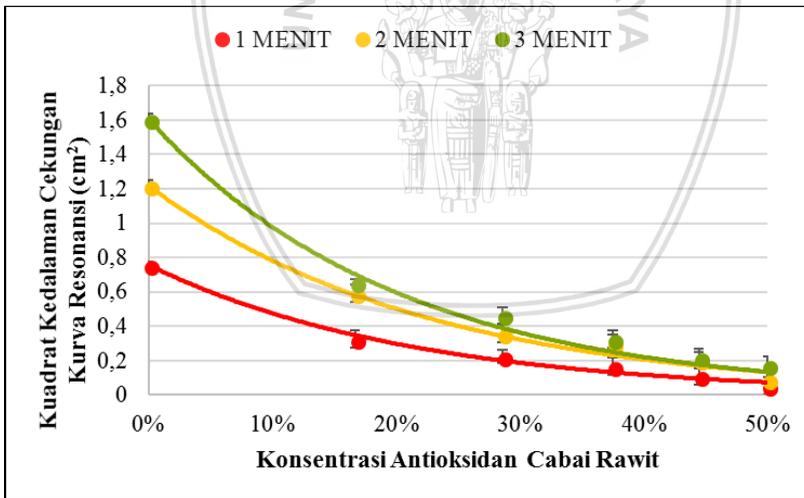
Gambar 4.7 Grafik Antioksidan Bawang Merah terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng

Tabel 4.5 menunjukkan hasil data rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva dengan pemberian konsentrasi massa antioksidan bawang merah yang berbeda-beda dan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pemberian antioksidan bawang merah dapat menurunkan kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang menunjukkan bahwa kandungan radikal bebas semakin turun. Grafik yang

dihasilkan merupakan grafik eksponensial negatif dengan persamaan pada penggorengan 1 menit $y = 0,7572e^{-4,567x}$ dengan besar R^2 0,9713, penggorengan 2 menit adalah $y = 1,2178e^{-4,467x}$ dengan besar R^2 0,9913 dan penggorengan 3 menit adalah $y = 1,605e^{-3,856x}$ dengan besar R^2 sebesar 0,952.

Tabel 4.6 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Cabai Rawit

Antioksidan	Rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva (cm ²)		
	1 menit	2 menit	3 menit
0%	0,7572	1,2178	1,6047
17%	0,3249	0,5929	0,6562
29%	0,2225	0,3600	0,4624
38%	0,1681	0,3025	0,3249
44%	0,1089	0,2025	0,2209
50%	0,0529	0,0900	0,1764



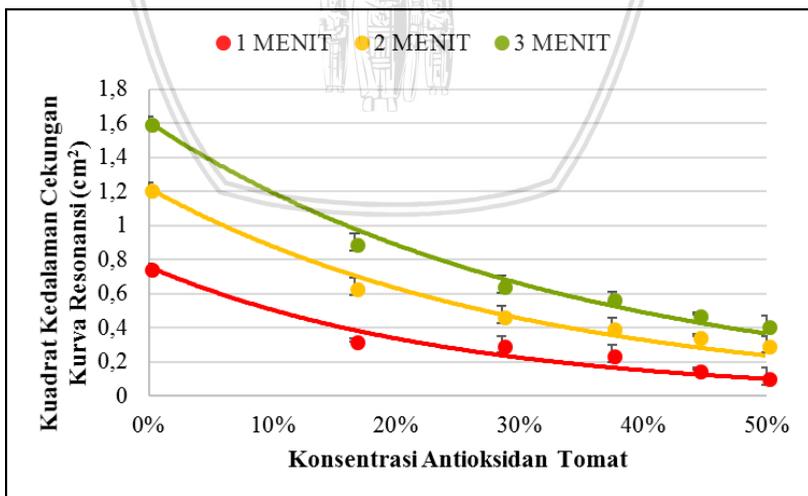
Gambar 4.8 Grafik Antioksidan Cabai Rawit terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng

Tabel 4.6 menunjukkan hasil data rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva dengan pemberian konsentrasi massa antioksidan

cabai rawit yang berbeda beda dan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pemberian antioksidan cabai rawit dapat menurunkan kandungan radikal bebas dengan melihat berkurangnya nilai kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik eksponensial negatif, persamaan pada penggorengan 1 menit adalah $y = 0,757e^{-4,655x}$ dengan besar R^2 adalah 0,9517, penggorengan 2 menit $y = 1,218e^{-4,431x}$ dengan besar R^2 adalah 0,925 dan penggorengan 3 menit $y = 1,605e^{-4,952x}$ dengan besar R^2 0,9904.

Tabel 4.7 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Tomat

Antioksidan	Rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva (cm ²)		
	1 menit	2 menit	3 menit
0%	0,7572	1,2178	1,6047
17%	0,3288	0,6400	0,9025
29%	0,3025	0,4761	0,6561
38%	0,2500	0,4096	0,5780
44%	0,1601	0,3541	0,4831
50%	0,1156	0,3025	0,4225

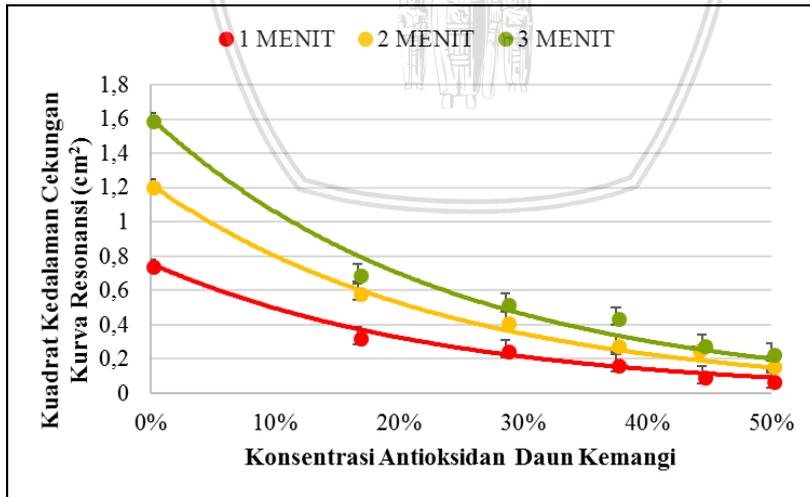


Gambar 4.9 Grafik Antioksidan Tomat terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng

Tabel 4.7 merupakan hasil data rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva dengan variasi pemberian konsentrasi massa antioksidan tomat dan Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pemberian antioksidan tomat dapat menurunkan kandungan radikal bebas. Grafik yang dihasilkan adalah grafik eksponensial negatif, persamaan pada penggorengan 1 menit $y = 0,757e^{-4,056x}$ dengan R^2 0,9393, penggorengan 2 menit $y = 1,218e^{-3,278x}$ dengan R^2 0,9498 dan penggorengan 3 menit $y = 1,605e^{-2,962x}$ dengan R^2 0,9248.

Tabel 4.8 Nilai Kuadrat Kedalaman Cekungan Kurva Resonansi pada Antioksidan Daun Kemangi

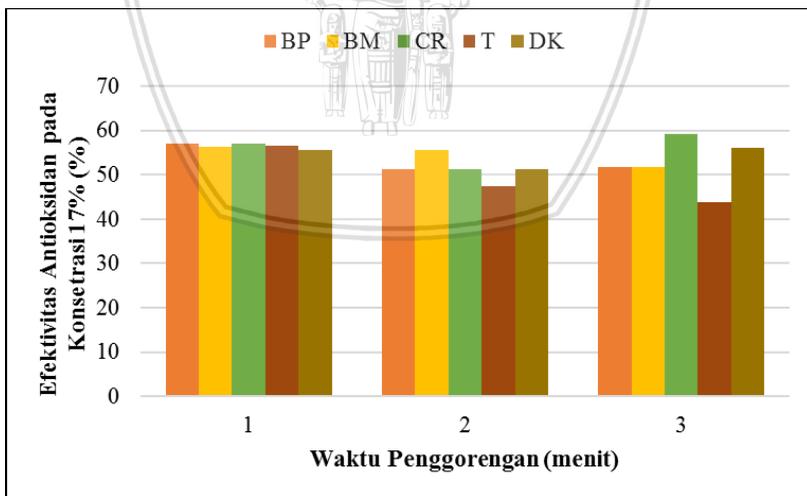
Antioksidan	Rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva (cm ²)		
	1 menit	2 menit	3 menit
0%	0,7572	1,2178	1,6047
17%	0,3364	0,5929	0,7056
29%	0,2601	0,4225	0,5329
38%	0,1764	0,2916	0,4489
44%	0,1089	0,2653	0,2916
50%	0,0841	0,1681	0,2401



Gambar 4.10 Grafik Antioksidan Daun Kemangi terhadap Kandungan Radikal Bebas O_2^- pada Terasi Goreng

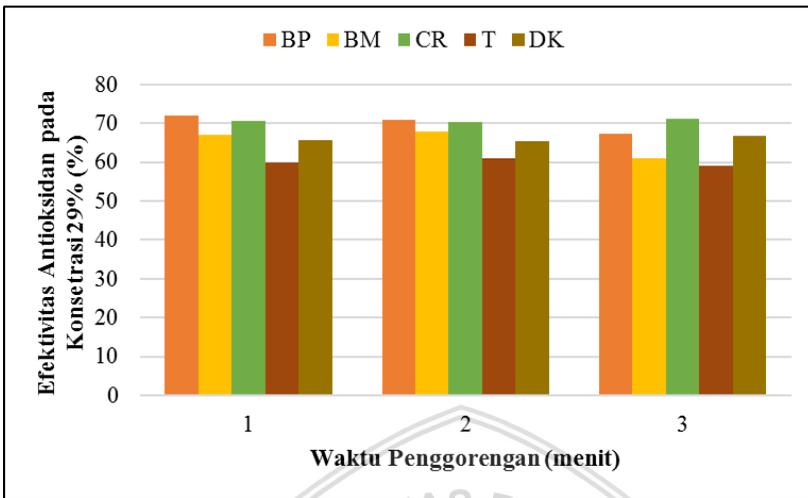
Tabel 4.8 menunjukkan hasil data rata-rata kuadrat kedalaman cekungan kurva dengan pemberian konsentrasi massa antioksidan daun kemangi yang berbeda beda dan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pemberian antioksidan daun kemangi dapat menurunkan kandungan radikal bebas dengan melihat kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik eksponensial negative, persamaan pada penggorengan 1 menit adalah $y = 0,757e^{-4,225x}$ dengan besar R^2 adalah 0,9819, penggorengan 2 menit $y = 1,218e^{-4,186x}$ dengan besar R^2 adalah 0,9627 dan penggorengan 3 menit $y = 1,605e^{-4,154x}$ dengan besar R^2 0,9747.

Gambar 4.6-4.10 menunjukkan grafik pengaruh pemberian lima (5) antioksidan terhadap kandungan radikal bebas pada terasi. Grafik juga menunjukkan bahwa tiap antioksidan memiliki peranan yang sama yaitu dapat menurunkan kandungan radikal bebas. Penurunan kandungan radikal bebas dapat dilihat pada kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang dihasilkan. Pemberian antioksidan dengan konsentrasi yang berbeda sangat mempengaruhi nilai dari kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi, semakin kecil kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang dihasilkan maka akan semakin sedikit kandungan radikal bebas pada terasi goreng.

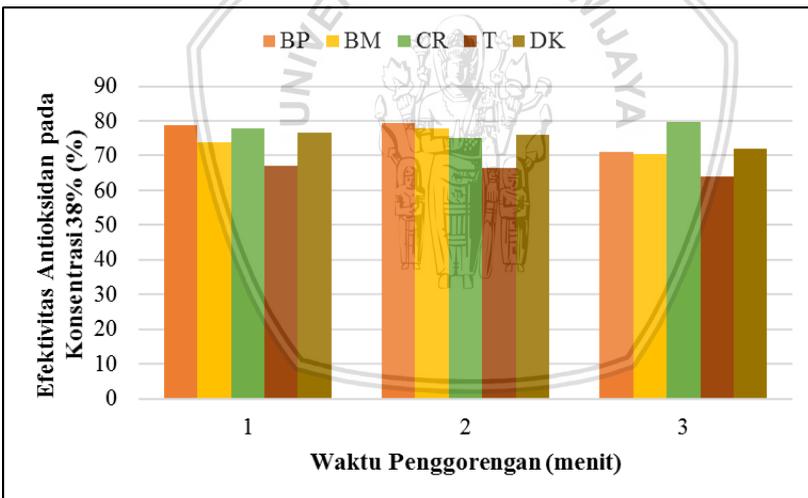


Gambar 4.11 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 17%

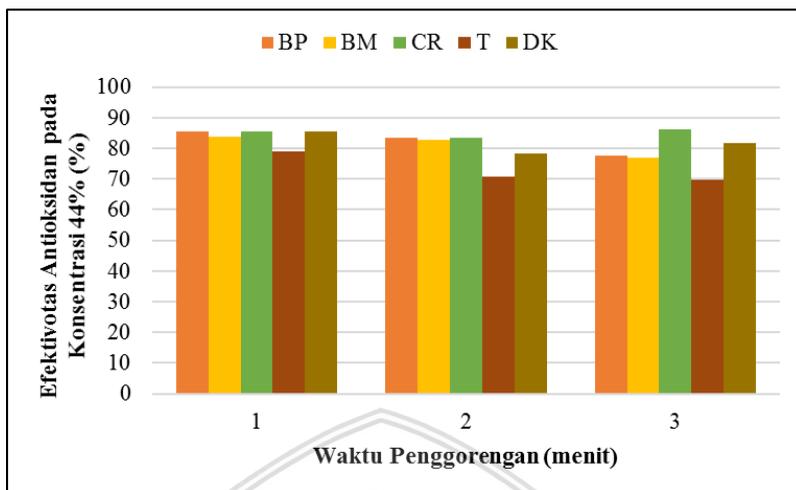




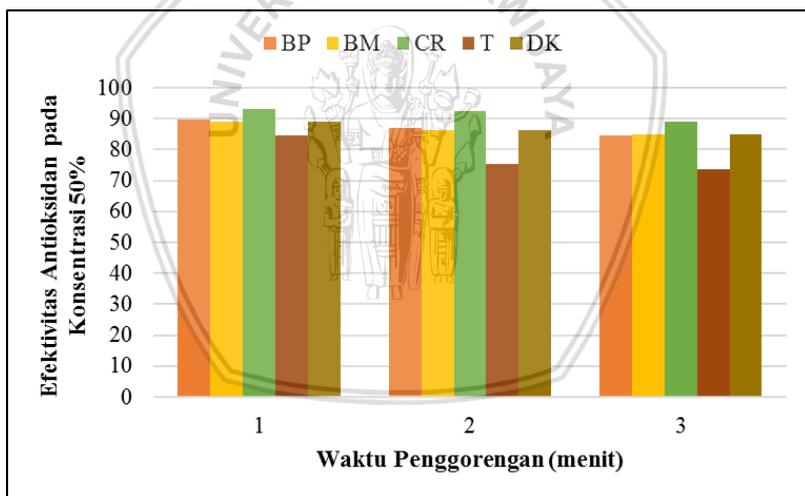
Gambar 4.12 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 29%



Gambar 4.13 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 38%



Gambar 4.14 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 44%



Gambar 4.15 Grafik Efektivitas Antioksidan pada Konsentrasi 50%

Gambar 4.11-4.15 menunjukkan grafik efektivitas antioksidan pada variasi konsentrasi massa yaitu 17%, 29%, 38%, 44% dan 50% dengan menggunakan persamaan 4.1

$$Efektivitas = \left(\frac{Nilai\ kontrol - Nilai\ uji}{Nilai\ kontrol} \right) \times 100 \dots\dots\dots 4.1$$

Pemberian antioksidan yang paling efektif adalah pada konsentrasi massa 50% yang dapat dilihat pada Gambar 4.15, hal ini

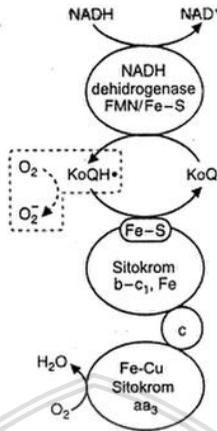
menunjukkan penurunan kandungan radikal bebas yang paling besar dibandingkan dengan konsentrasi massa lainnya. Konsentrasi massa antioksidan yang semakin besar dapat dengan mudah menurunkan kandungan radikal bebas pada terasi goreng. Gambar 4.15 juga menunjukkan bahwa pemberian antioksidan cabai rawit memiliki nilai efektivitas paling besar, hal ini dikarenakan nilai ORAC pada cabai rawit paling besar dibandingkan dengan nilai ORAC pada antioksidan lainnya. Selain itu, pemberian antioksidan tomat memiliki nilai efektivitas paling kecil, hal ini dikarenakan nilai ORAC yang dimiliki tomat lebih kecil dari nilai ORAC pada antioksidan yang lainnya.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Mekanisme Reaksi terbentuknya Radikal Bebas

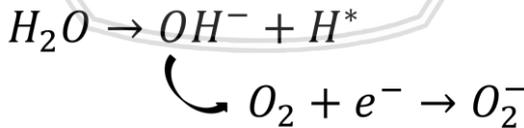
Terasi udang yang dilakukan penggorengan menghasilkan senyawa radikal bebas berupa O_2^- . Pada dasarnya pembentukan radikal bebas O_2^- diperoleh dari proses metabolisme yang tidak sempurna pada sel udang hidup. Sel memiliki berbagai macam organel salah satunya adalah mitokondria. Mitokondria berfungsi sebagai respirasi sel untuk menghasilkan sebuah energi berupa ATP. Respirasi dibagi menjadi respirasi aerob dan respirasi anaerob, pada respirasi aerob terjadi beberapa tahap diantaranya tahap glikolisis, tahap dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs dan transfer elektron. Tahap transfer elektron ini dalam pemecahan NADH dan FADH₂ menjadi energi ATP diperlukan bantuan oksigen (O_2). Proses pemanasan akibat penggorengan pada terasi inilah yang menyebabkan pemicu terjadinya kebocoran elektron pada saat transfer elektron sehingga elektron berikatan dengan oksigen dan menghasilkan senyawa anion superoksida (O_2^-).

Menurut Marks (1996), pembentukan senyawa radikal bebas anion superoksida (O_2^-) dihasilkan dari tahap transfer elektron. Koenzim Q yang tereduksi di dalam rantai tranfer elektron pada mitokondria merupakan sumber utama radikal bebas oksigen. Sebagian elektron yang sedang dipindahkan dari NADH dan senyawa lain ke oksigen (O_2) lolos sewaktu $KoQH^*$ berinteraksi dengan O_2 untuk membentuk radikal anion superoksida. Sebaliknya, pusat Fe-Cu binuklear pada sitokrom oksidase mencegah pelepasan radikal oksigen bebas. Pembentukan radikal bebas anion superoksida (O_2^-) oleh rantai transfer elektron dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Pembentukan Radikal Bebas O_2^- oleh Rantai Transfer Elektron (Marks, Marks and Colleen, 1996)

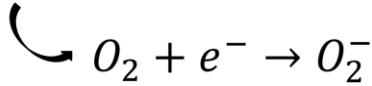
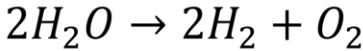
Radikal bebas O_2^- dapat disebut sebagai radikal bebas biologis karena terbentuk didalam sel dengan kadar yang normal. Radikal bebas O_2^- juga dapat terbentuk akibat adanya produk sampingan dari proses pemanasan. Pembuatan terasi dengan tahap penjemuran dibawah terik matahari menyebabkan adanya interaksi antara senyawa yang terdapat di dalam terasi dengan sinar ultraviolet (UV) yang dipancarkan oleh matahari. Sinar UV yang berinteraksi dengan sel dapat menghasilkan senyawa OH^- dari proses perombakan molekul air (H_2O) yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Penguraian Molekul H_2O akibat Interaksi dengan Sinar Ultraviolet

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa molekul H_2O terurai menjadi molekul OH^- dan H^* . Molekul OH^- akan terurai kembali menjadi atom O dan H^- yang kemudian atom O akan berinteraksi dengan atom O lainnya membentuk unsur O_2 . Unsur O_2 kemudian berinteraksi dengan elektron dari proses interaksi dengan sinar UV

sehingga menghasilkan unsur O_2^- yang tidak stabil dan bersifat reaktif terhadap tubuh manusia. Pembentukan O_2^- juga dihasilkan dari proses pemanasan (penggorengan). Pemanasan menyebabkan 2 molekul air (H_2O) terurai menjadi unsur $2H_2$ dan O_2 seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Penguraian Molekul H_2O akibat Proses Pemanasan

Gambar 4.18 menunjukkan bahwa 2 molekul H_2O dapat terurai menjadi $2H_2$ dan O_2 . Unsur O_2 kemudian berinteraksi dengan elektron dari proses interaksi dengan sinar UV sehingga menghasilkan juga unsur O_2^- yang tidak stabil dan bersifat reaktif terhadap tubuh manusia.

4.2.2 Analisa Kurva Resonansi pada Osiloskop ESR

Radikal bebas O_2^- merupakan suatu unsur yang memiliki 1 elektron tidak berpasangan. Pemberian medan magnet eksternal yang besar pada radikal bebas menyebabkan tingkat energi kulit terpecah hingga pada tingkat energi spin yang disebut dengan efek Zeeman. Terpecahnya tingkat energi spin elektron ini diakibatkan karena adanya momentum sudut intrinsik dari elektron sehingga elektron yang ketika diberikan medan magnet yang besar akan mengalami rotasi dan pembelokan arah dengan orientasi yang berbeda. Tingkat energi spin elektron tersebut memiliki 2 orientasi yaitu spin up dan spin down. Spin up memiliki energi lebih rendah daripada spin down karena spin up bersifat paralel dan spin down bersifat antiparalel. Elektron yang tidak berpasangan pada radikal bebas ini akan menempati posisi spin up karena harus memenuhi aturan Aufbau (elektron harus menempati posisi dengan energi terendah).

Elektron tidak berpasangan tersebut ketika diberi suatu gelombang *Radio Frequency* (RF) akan mengalami penyerapan energi dari gelombang RF. Akibat dari penyerapan energi gelombang RF membuat elektron memiliki energi yang cukup untuk mengalami eksitasi menuju energi yang lebih tinggi yaitu pada spin down. Namun ketika elektron tidak berpasangan ini berada pada spin down hal ini menyalahi aturan Aufbau (elektron harus menempati posisi dengan energi terendah) sehingga elektron kembali lagi menuju spin up

dengan peristiwa deeksitasi yaitu berpindahnya elektron dengan memancarkan energi gelombang RF.

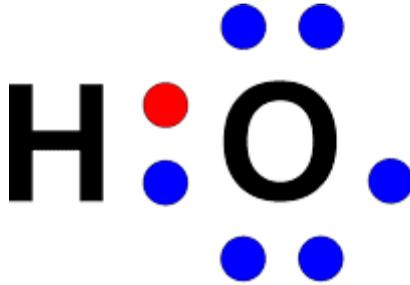
Peristiwa ini juga diimbangi dengan adanya peristiwa resonansi yaitu kesesuaian antara beda energi spin dengan energi yang dipancarkan oleh gelombang RF yang menyebabkan pancaran energi gelombang RF dari peristiwa deeksitasi mengalami perubahan fase sebesar 135° dari energi gelombang RF yang diberikan oleh ESR. Perpaduan gelombang RF yang diberikan oleh ESR dan gelombang RF yang dipancarkan akibat peristiwa deeksitasi elektron ini yang disebut dengan kurva lissajous. Osiloskop pada ESR menampilkan kurva lissajous yang memiliki beda fase 135° antara kedua gelombang sehingga menunjukkan kurva dengan bentuk V.

Kedalaman kurva resonansi (kurva lissajous) merupakan amplitudo dari gelombang RF yang diberikan oleh alat ESR dengan gelombang RF yang dihasilkan dari peristiwa deeksitasi elektron pada tingkat energi spin atom, sehingga kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi dianggap sebagai kuadrat dari amplitudo dari kedua gelombang RF tersebut. Kuadrat amplitudo sebanding dengan energi antar kedua spin elektron yang mengalami eksitasi dan deeksitasi sehingga terasi yang mengalami proses pemanasan lebih lama akan memiliki energi lebih besar dalam beresonansi.

4.2.3 Energi Ikat Antioksidan dengan Radikal Bebas

Antioksidan merupakan senyawa pendonor elektron. Antioksidan berperan dalam menurunkan kandungan radikal bebas O_2^- dengan memberikan elektronnya kepada radikal bebas. Elektron yang diberikan kepada radikal bebas merupakan elektron atom hidrogen dari gugus hidroksil (OH) yang terdapat pada senyawa antioksidan. Gugus hidroksil tersebut yang menentukan pengaruh aktivitas antioksidan pada radikal bebas, semakin banyak gugus hidroksil pada senyawa antioksidan maka akan semakin besar antioksidan tersebut meredam reaktivitas radikal bebas sehingga kemampuan dalam menstabilkan radikal bebas juga semakin besar.

Gugus hidroksil merupakan suatu molekul yang terdiri dari atom oksigen (O) dan Hidrogen (H). Atom oksigen memiliki delapan elektron dan atom hidrogen hanya memiliki satu elektron. Gugus hidroksil adalah suatu molekul yang memiliki ikatan kovalen. Ikatan kovalen adalah penggunaan satu pasang elektron bersama. Struktur dari gugus hidroksil dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Struktur Gugus Hidroksil

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa gugus hidroksil memiliki ikatan kovalen antara atom hidrogen dengan atom oksigen. Hidrogen hanya memiliki satu elektron tidak berpasangan sedangkan oksigen memiliki enam elektron valensi (elektron terluar) sehingga pada gugus hidroksil hanya memiliki sepasang elektron bersama karena satu elektron yang tidak berpasangan. Gugus hidroksil merupakan ikatan antara satu atom hidrogen dengan satu oksigen yang mempunyai sifat polar karena keelektronegatifan dari atom oksigen lebih besar daripada atom hidrogen. Keelektronegatifan merupakan suatu kemampuan atom untuk menarik elektron menuju dirinya sendiri pada ikatan kovalen (Fadiawati, 2001).

Dua atom yang saling berikatan memiliki energi yang disebut dengan energi ikat. Ikatan antara kedua atom tersebut dapat dilepaskan dengan besar energi tertentu. Besar energi tertentu ini harus sebanding dengan energi ikat pada kedua atom. Kekuatan energi ikat dari suatu atom yang berikatan sebanding dengan banyaknya pasangan elektron yang digunakan bersama-sama. Energi ikat yang kuat merupakan ikatan yang memiliki banyak pasangan elektron bersama contohnya adalah ikatan rangkap dua atau ikatan rangkap tiga. Energi ikat yang lemah merupakan ikatan yang memiliki sedikit pasangan elektron bersama contohnya adalah ikatan tunggal. Ikatan kovalen pada atom hidrogen dan oksigen memiliki ikatan tunggal. Energi ikat pada tiap atom yang berikatan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

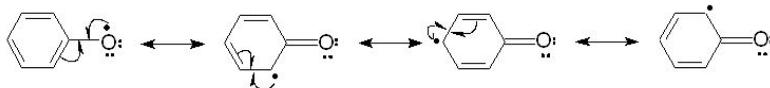
Tabel 4.9 Nilai Energi Ikat (Fadiawati, 2001)

Ikatan	Energi Ikat (kJ/mol)
$N \equiv N$	946
$C \equiv C$	837
$C = O$	799
$O = O$	498
$O - H$	464
$N - O$	222

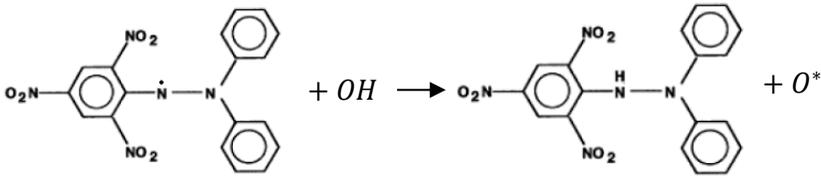
Reaksi antioksidan dengan radikal bebas adalah mendonorkan satu elektron dari antioksidan sehingga radikal bebas lebih stabil. Mekanismenya adalah gugus hidroksil pada antioksidan memiliki energi ikat yang lemah dibandingkan dengan energi ikat pada ikatan atom lainnya sehingga atom hidrogen cenderung lebih mudah lepas dari atom oksigen. Akibatnya atom hidrogen memiliki kembali elektron tidak berpasangan dan berikatan dengan radikal bebas yang juga memiliki elektron tidak berpasangan, sehingga radikal bebas yang berikatan dengan atom hidrogen menjadi lebih stabil dan tidak bersifat reaktif dalam tubuh. Reaksi radikal bebas dengan gugus hidroksil dapat dilihat pada Gambar 4.20.

**Gambar 4.20** Reaksi Radikal Bebas dengan Gugus Hidroksil (OH)

Hasil dari interaksi radikal bebas dan gugus hidroksil adalah senyawa RH yang lebih stabil, selain itu juga menimbulkan adanya radikal bebas baru berupa O^* yang sifatnya lebih stabil dan tidak reaktif terhadap tubuh karena elektron pada radikal bebas O^* akan terdelokalisasi yaitu mengelilingi ikatan siklik sehingga sifatnya tidak reaktif atau relatif stabil seperti pada Gambar 4.21.

**Gambar 4.21** Radikal Bebas O^* yang terdelokalisasi

Reaksi penetralan DPPH (*Diphenyl-picrylhydrazyl*) dengan gugus hidroksil yang terdapat pada antioksidan dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Penetralan DPPH (*Diphenyl-picrylhydrazyl*) oleh Gugus Hidroksil (OH)

DPPH merupakan radikal bebas yang memiliki elektron tidak berpasangan pada atom N. Interaksi DPPH dengan gugus hidroksil (OH) menyebabkan elektron atom hidrogen pada gugus hidroksil (OH) berikatan dengan elektron tidak berpasangan atom N pada DPPH, sehingga menyebabkan DPPH lebih stabil dan menghasilkan radikal bebas baru berupa O^* yang sifatnya juga stabil sehingga tidak reaktif dalam tubuh.

4.2.4 Mekanisme Reaksi Radikal Bebas dengan Antioksidan

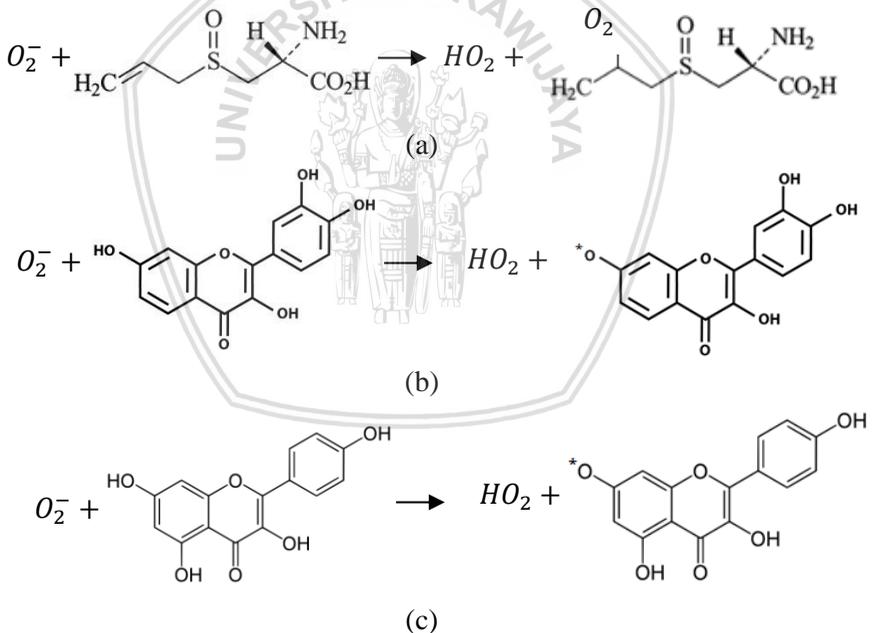
Jenis radikal bebas yang terkandung dalam terasi goreng adalah O_2^- atau anion superoksida. Terasi goreng diberikan antioksidan berupa bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi. Antioksidan ini berperan sebagai penangkal radikal bebas pada O_2^- . Bahan antioksidan bawang putih, bawang merah, cabai rawit, tomat dan daun kemangi memiliki kandungan antioksidan yang berbeda-beda. Antioksidan bawang putih mengandung antioksidan alliin, quercetin dan kaemferol (Khomsan and Faisal, 2008). Bawang merah mengandung antioksidan flavonol (Siswati, SU and Junaini, 2012). Cabai rawit memiliki kandungan antioksidan berupa vitamin C, flavonoid dan β -karoten (Suryana, 2013). Tomat mengandung antioksidan berupa likopen (Apriadji, 2007). Daun kemangi memiliki antioksidan meliputi flavonoid dan eugenol (Andareto, 2015).

Radikal bebas memiliki mekanisme yang dapat digambarkan sebagai suatu deret reaksi-reaksi bertahap. Mekanismenya adalah sebagai berikut:

1. Tahap inisiasi yaitu pembentukan awal radikal bebas
2. Tahap propagasi yaitu perambatan atau terbentuknya radikal baru.
3. Tahap terminasi yaitu pemusnahan atau perubahan menjadi radikal bebas stabil dan tidak reaktif (Andriyanti, 2009).

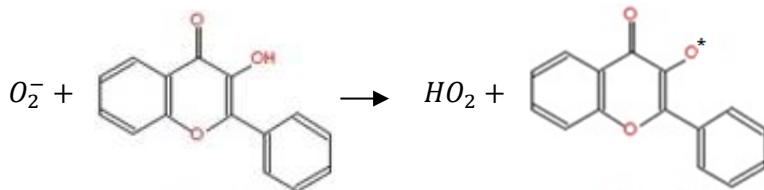
Tahap inisiasi ditunjukkan pada pembentukan senyawa radikal bebas O_2^- akibat adanya interaksi panas. Tahap propagasi ditunjukkan pada perambatan radikal bebas O_2^- . Tahap terminasi yaitu ditunjukkan pada pemberian antioksidan yang menghasilkan radikal bebas stabil berupa O^* .

Bawang putih mengandung antioksidan alliin, quercetin dan kaemferol (Khomsan and Faisal, 2008). Antioksidan alliin, quercetin dan kaemferol mampu menurunkan kandungan radikal bebas O_2^- pada terasi goreng. Mekanisme reaksi antara antioksidan alliin, quercetin dan kaemferol dengan radikal bebas O_2^- dapat ditunjukkan pada Gambar 4.23.



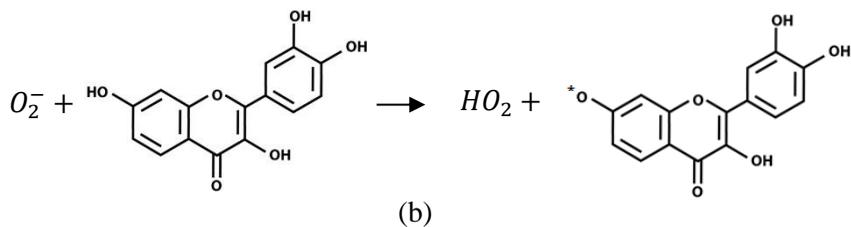
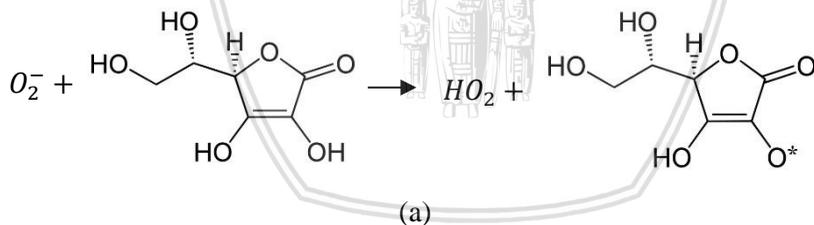
Gambar 4.23 Mekanisme Reaksi antara (a) Alliin dengan Radikal Bebas O_2^- , (b) Quercetin dengan Radikal Bebas O_2^- dan (c) Kaemferol dengan Radikal Bebas O_2^-

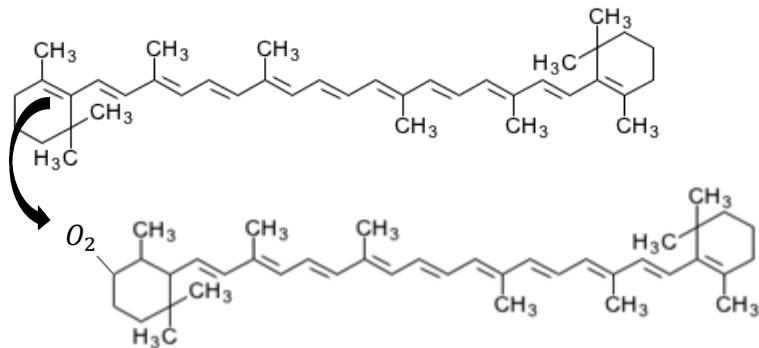
Bawang merah mengandung antioksidan flavonol (Siswati, SU and Junaini, 2012). Antioksidan flavonol dapat menurunkan kandungan radikal bebas O_2^- pada terasi goreng. Mekanisme reaksi antara antioksidan flavonol dengan radikal bebas O_2^- dapat ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Mekanisme Reaksi antara Flavonol dengan Radikal Bebas O_2^-

Cabai rawit memiliki kandungan antioksidan berupa vitamin C, flavonoid dan β -karoten (Suryana, 2013). Antioksidan vitamin C, flavonoid dan β -karoten dapat menurunkan kandungan radikal bebas O_2^- pada terasi goreng. Mekanisme reaksi antara antioksidan vitamin C, flavonoid dan β -karoten dengan radikal bebas O_2^- dapat ditunjukkan pada Gambar 4.25.





(c)

Gambar 4.25 Mekanisme Reaksi antara (a) Vitamin C dengan Radikal Bebas O_2^- , (b) Flavonoid dengan Radikal Bebas O_2^- dan (c) β -karoten dengan Radikal Bebas O_2^-

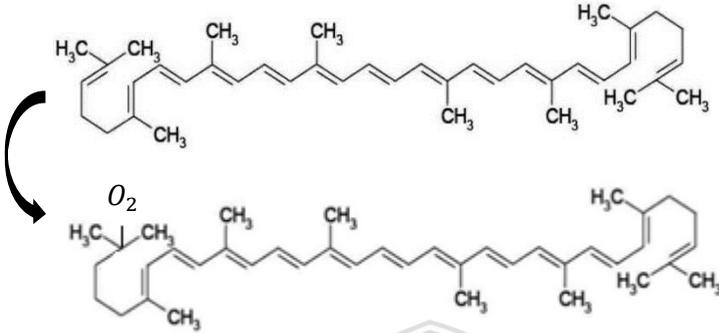
Vitamin C (asam askorbat) merupakan senyawa antioksidan yang berkhasiat untuk menangkal radikal bebas. Vitamin C dapat mengurangi efek yang disebabkan oleh peroksidasi lipid dan mengurangi atau menetralkan oksigen reaktif seperti anion superoksida (O_2^-) secara efektif (Fontana *et al.*, 1999).

Antioksidan flavonoid yang merupakan senyawa antioksidan yang dapat menangkal radikal bebas. Aktivitas flavonoid sebagai antioksidan bergantung pada jumlah dan posisi dari gugus OH. Gugus OH yang banyak menyebabkan aktivitas antioksidan flavonoid semakin besar sehingga dapat meredam radikal bebas. Flavonoid dapat menyumbangkan atom hidrogennya kepada berbagai jenis radikal bebas seperti O_2^- (Zhishen, Mengcheng and Jianming, 1999).

β -karoten dapat mengurangi jumlah radikal bebas dengan memberikan atom hidrogen sehingga β -karoten berubah menjadi radikal bebas β -karoten. β -karoten dapat menghambat oksidasi lipid, menangkap radikal peroksil dan mengikat anion superoksida (O_2^-). Elektron pada ikatan rangkap heksana pada β -karoten akan dilepaskan dan berikatan dengan elektron bebas pada radikal bebas O_2^- (Supriyono, 2008).

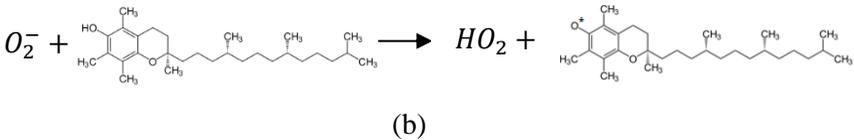
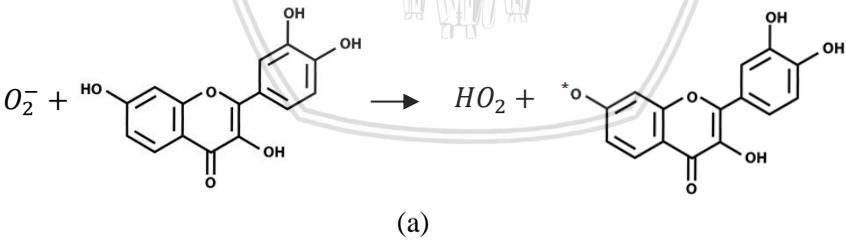
Tomat mengandung antioksidan berupa likopen (Apriadi, 2007). Antioksidan likopen dapat menurunkan kandungan radikal bebas O_2^- pada terasi goreng. Mekanisme reaksi antara antioksidan

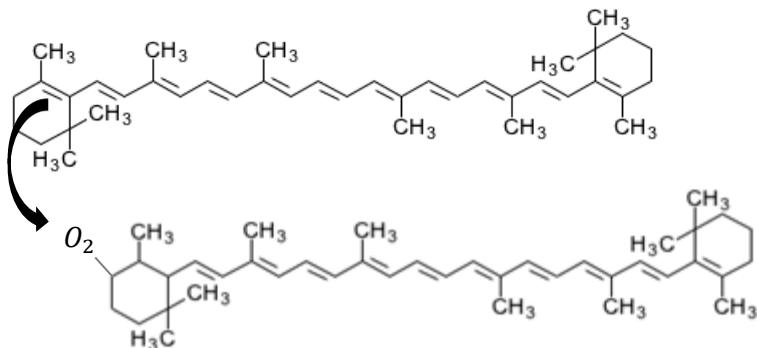
likopen dengan radikal bebas O_2^- dapat ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Mekanisme Reaksi antara Likopen dengan Radikal Bebas O_2^-

Daun kemangi memiliki antioksidan meliputi flavonoid, tokoferol (vitamin E), dan β -karoten (Andareto, 2015). Antioksidan flavonoid, tokoferol (vitamin E), dan β -karoten dapat menurunkan kandungan radikal bebas O_2^- pada terasi goreng. Mekanisme reaksi antara antioksidan flavonoid, tokoferol (vitamin E), dan β -karoten dengan radikal bebas O_2^- dapat ditunjukkan pada Gambar 4.27.





(c)

Gambar 4.27 Mekanisme Reaksi antara (a) Flavonoid dengan Radikal Bebas O_2^- , (b) Tokoferol (vitamin E) dengan Radikal Bebas O_2^- dan (c) β -karoten dengan Radikal Bebas O_2^-

Antioksidan vitamin E (tokoferol) melindungi sel dari oksidasi radikal bebas pada rantai peroksida lipid. Vitamin E (tokoferol) dapat secara langsung melawan berbagai jenis radikal bebas seperti radikal peroxy (ROO^*), CCl_3^* , OH^* dan O_2^- (Machlin and Bendich, 1987).



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terasi goreng memiliki radikal bebas. Jenis radikal bebas pada terasi goreng adalah O_2^- dengan nilai faktor- sebesar 1,501-1,75. Kandungan radikal bebas dipengaruhi oleh waktu penggorengan, semakin lama waktu penggorengan maka akan semakin banyak kandungan radikal bebas dengan penggorengan 1 menit, 2 menit dan 3 menit berturut-turut sebesar 0,7572; 1,218 dan 1,605. Pemberian antioksidan juga berpengaruh terhadap penurunan jumlah radikal bebas, semakin banyak konsentrasi antioksidan yang diberikan maka akan semakin sedikit kandungan radikal bebas pada terasi goreng. Antioksidan yang paling efektif dalam menurunkan kandungan radikal bebas adalah cabai rawit karena memiliki nilai ORAC yang paling tinggi dibandingkan dengan antioksidan yang lainnya (bawang putih, bawang merah, tomat dan daun kemangi).

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan uji tambahan seperti uji protein pada terasi dan dilakukan penelitian tentang senyawa HO_2 untuk diketahui radikal bebas yang terbentuk sebelum berikatan dengan antioksidan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto, E. and Liviawaty, E. 1989. *Pengawetan Dan Pengolahan Ikan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Andareto, O. 2015. *Apotik Herbal di Sekitar Anda*. Jakarta: Pustaka Ilmu Semesta.
- Andriyanti, R. 2009. 'Ekstraksi Senyawa Aktif Antioksidan dari Lintah Laut (*Discodoris* sp.) asal Perairan Kepulauan Belitung', *Bogor: Institut Pertanian Bogor*.
- Apriadji, W. H. 2007. *Makan Enak untuk Hidup Sehat, Bahagia dan Awet Muda*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Arief, S. 2006. 'Radikal bebas', *Surabaya: Universitas Airlangga*, pp. 1–9.
- Astawan, M. and Kasih, A. L. 2008. *Khasiat Warna-Warni Makanan*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Astuti, S. 2008. 'Isoflavon Kedelai dan Potensinya sebagai Penangkap Radikal Bebas', *Lampung: Universitas Lampung*, 13(2), pp. 126–136.
- Basith, M. A. 2012. 'Efek Nefroprotektor Ekstrak Daun Kemangi (*Ocimum sanctum*) terhadap Kerusakan Sel Ginjal Mencit (*Mus musculus*) yang Diinduksi Parasetamol', *Surakarta: Universitas Sebelas Maret*, p. 74.
- Cahyono, B. 2003. *Cabai Rawit Teknik Budi Daya & Analisis*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Cristiya, Y., Yudi, A. and Juswono, U. P. 2013. 'Pengaruh Jenis Asam Amino terhadap Jenis Radikal Bebas pada Asap Rokok Kretek (Divine Cigarette)', *Malang: Universitas Brawijaya*, pp. 1–5.
- Fadiawati, N. 2001. 'Interaksi Magnesium (III), Kalsium (II), Seng (II) dan Kadmium (II) dengan Asam Furamat', *Jurnal Pendidikan MIPA*.
- Fauziah, F. F., Juswono, U. P. and Herwiningsih, S. 2012. 'Pengaruh Pemberian Buah Manggis, Buah Sirsak dan Kunyit Terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Sapi yang Diradiasi dengan Sinar Gamma', *Physics Student Journal*, pp. 24–31.
- Fontana, L. *et al.* 1999. 'Effect of Vitamin C and of a Cell Permeable Superoxide Dismutase Mimetic on Acute Lipoprotein Induced Endothelial Dysfunction in Rabbit Aortic Rings', *British Journal of Pharmacology*.
- Gerson, F. and Huber, W. 2006. *Electron Spin Resonance*

- Spectroscopy of Organic Radicals*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Hadyathma, R. I. 2010. 'Gambaran Perilaku Para Pekerja Jalan Raya tentang Penggunaan Antioksidan dan Tindakan Pencegahan dalam Menangkal Radikal Bebas di Kecamatan Medan Amplas Tahun 2010', *Medan: Universitas Sumatera Utara*.
- Halliwell, B., Gutteridge, J. and Cross, C. E. 1992. 'Free Radicals, Antioxidants, and Human Disease: Where Are We Now?', *J. Lab. Clin. Med.*, pp. 598–620.
- Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. C. 2015. 'Free Radicals in Biology and Medicine'. United Kingdom: Oxford University Press.
- Hartono. 2015. *Elektronika Dasar I*. Purwakarta: Hartono.
- Ikhlas, N. 2013. 'Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Herba Kemangi (*Ocimum americanum* Linn) dengan Metode DPPH (2,2-Difenil-1-Pikrilhidrazil)', *Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah*, p. 78.
- Irianto, H. 2013. *Produk Fermentasi Ikan*. Depok: Penebar Swadaya.
- Khomsan, A. and Faisal, A. 2008. *Sehat Itu Mudah*. Jakarta: Hikmah.
- Kiselev, A., Ivchenko, E. and Rossler, U. 1998. 'Electron g Factor in One and Zero Dimensional Semiconductor Nanostructures', *Physics*.
- Kristanty, R. E., Mun'im, A. and Katrin. 2013. 'Aktivitas Antioksidan dan Penghambat Xantin Oksidase dari Ekstrak Buah Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC)', *Farmasi Indonesia*, pp. 122–128.
- Kumalaningsih, S. 2006. *Antioksidan Alami: Penangkal Radikal Bebas*. Surabaya: Trubus Agrisarana.
- Levitt, M. H. 2008. *Spin Dynamics: Basics of Nuclear Magnetic Resonance*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Machlin, L. and Bendich, A. 1987. 'Free Radical Tissue Damage: Protective Role of Antioxidant Nutrients', *Journal Clinical Nutrition*, pp. 441–445.
- Mardiah, Zakaria, F. R. and Asydhad, L. A. 2006. *Makanan Antikanker*. Jakarta: Kawan Pustaka.
- Marks, D., Marks, A. and Colleen, S. 1996. 'Biokimia Kedokteran Dasar'. Jakarta: EGC.
- Nurjannah, D. A., Retnowati, R. and Juswono, U. P. 2013. 'Aktivitas Antioksidan dari Minyak Bunga Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) Kering berdasarkan Aktivitas Antiradikal yang

- ditentukan menggunakan Electron Spin Resonance', *Malang: Universitas Brawijaya*, 1(2), pp. 283–288.
- Octavia, D. R. 2009. 'Uji Aktivitas Penangkap Radikal Ekstrak Petroleum Eter, Etil Asetat dan Etanol Daun Binahong (*Anredera cordifolia* (Tenore) Steen) dengan Metode DPPH (2,2-difenil-1-pikrihidrazil)', *Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Pitojo, I. S. 2003. *Seri Penangkaran : Benih Bawang Merah*. Jakarta: Kanisius.
- Pratt, D. E. and Hudson, B. J. F. 1990. 'Natural Antioxidants Not Exploited Commercially', *Food Antioxidants*, pp. 171–191.
- Ranby, B. and Rabek, J. F. 2012. *ESR Spectroscopy in Polymer Research*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Saleh, R. 2002. 'Studi Spektroskopi Electron Resonance (ESR) Lapisan Tipis Amorf Silikon Karbon (a-SiC:H) Hasil Deposisi Metode DC Sputtering', *Sains*, 6(1), pp. 31–35.
- Samadi, I. B. and Cahyono, I. B. 2005. *Bawang Merah, Intensifikasi Budi Daya*. Jakarta: Kanisius.
- Sandjaja. 2009. *Kamus Gizi : Pelengkap Kesehatan Keluarga*. Jakarta: Buku Kompas.
- Saputro, R. H., Juwono, U. P. and Widodo, C. S. 2013. 'Pengaruh bengkung (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) dan Lidah Buaya (*Aloe vera*) terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Ayam yang diradiasi dengan Sinar Ultraviolet', *Malang: Universitas Brawijaya*.
- Siswati, N. D., SU, J. and Junaini. 2012. 'Pemanfaatan Antioksidan Alami Flavonol untuk Mencegah Proses Ketengikan Minyak Kelapa', *Surabaya: UNP Veteran*.
- Subandi. 2010. *Kimia Organik*. Yogyakarta: Dee Publish.
- Suprpti. 2012. *Membuat Terasi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Supriyono, T. 2008. 'Kandungan Beta Karoten, Polifenol Total dan Aktivitas "Merantas" Radikal Bebas Kefir Susu Kacang Hijau (*Vigna radiata*) oleh Pengaruh Jumlah Starter (*Lactobacillus bulgaricus* dan *Candida Kefir*) dan Konsentrasi Glukosa', *Semarang: Universitas Diponegoro*.
- Suryana, D. 2013. *Menanam Cabe: Cara Menanam Cabe Dan Budidaya Cabe*. Jakarta: Dayat Suryana.
- Syarifah, U., Muthmainnah and Mulyono, A. 2014. 'Analisis Fisis Membran Biofilter Asap Rokok Berbahan Biji Kurma Untuk

- Menangkap Radikal Bebas', *Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*, 7, pp. 40–48.
- Winarno, F. 1999. 'Minyak Goreng dalam Menu Masyarakat', *Bogor: Institut Pertanian Bogor*.
- Winarno, F. G. 2002. *Kimia Pangan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Winarsi, H. 2007. *Antioksidan Alami dan Radikal*. Yogyakarta: Kanisius.
- Wiryanta, B. T. 2002. *Bertanam Tomat*. Jakarta: Agromedia.
- Wolke, R. L. 2002. *Kalo Einstein Jadi Koki*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Youngson, R. 2003. *Antioksidan*. Jakarta: Arcan.
- Yuswantina, R. 2009. 'Uji Aktivitas Penangkap Radikal Bebas dari Ekstrak Petroleum Eter, Etil Asetat dan Etanol Rhizoma Binahong (*Anredera cordifolia* (Tenore) Steen) dengan Metode DPPH (2,2-difenil-1-pikrihidrazil)', *Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Yuwono, S. 2012. 'Klasifikasi pada Daun Kemangi. Malang: Universitas Brawijaya', *Malang: Universitas Brawijaya*.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. 'The Determination of Flavonoid Contents in Mulberry and Their Scavenging Effect on Superoxide Radicals', *Food Chemistry*, pp. 555–559.
- Zuhra, C. F., Tarigan, J. B. and Sihotang, H. 2008. 'Aktivitas Antioksidan Senyawa Flavonoid Dari Daun Katuk (*Sauropus androgynus* (L) Merr.)', *Jurnal Biologi Sumatra*, 3(1), pp. 10–13.