

**PENGARUH PEMBERIAN DAUN SUKUN, LADA PUTIH,
DAN LENGKUAS TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL
BEBAS, PROTEIN, DAN ASAM LEMAK BEBAS PADA
DAGING SAPI YANG DIMASAK MENGGUNAKAN OVEN
GELOMBANG MIKRO**

SKRIPSI

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

Oleh:

**Yuliana Safitri
145090301111004**



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



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PEMBERIAN DAUN SUKUN, LADA PUTIH,
DAN LENGKUAS TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL
BEBAS, PROTEIN, DAN ASAM LEMAK BEBAS PADA
DAGING SAPI YANG DIMASAK MENGGUNAKAN OVEN
GELOMBANG MIKRO**

Oleh:

**Yuliana Safitri
145090301111004**


Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal **02 Juli 2018**
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I



**Drs. Unggul P Juswono, M.Sc
NIP. 196501111990021002**

Pembimbing II



**Firdy Yuana, S.Si., M.Si
NIP. 198003292005022007**



**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuliana Safitri
NIM : 145090301111004
Jurusan : Fisika
Penulis Skripsi Berjudul :


Pengaruh Pemberian Daun Sukun, Lada Putih, dan Lengkuas terhadap Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Daging Sapi yang Dimasak Menggunakan Oven Gelombang Mikro

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka 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,02 Juli..... 2018
Yang menyatakan,



(Yuliana Safitri)
145090301111004



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH PEMBERIAN DAUN SUKUN, LADA PUTIH, DAN LENGKUAS TERHADAP KANDUNGAN RADIKAL BEBAS, PROTEIN, DAN ASAM LEMAK BEBAS PADA DAGING SAPI YANG DIMASAK MENGGUNAKAN OVEN GELOMBANG MIKRO

ABSTRAK

Oven *microwave* merupakan peralatan dapur yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memasak atau memanaskan makanan dalam waktu yang relatif lebih singkat. Selain itu, oven *microwave* digunakan untuk mengurangi bakteri dan mengurangi faktor ketengikan (asam lemak bebas) yang terdapat pada daging, namun di sisi lain dapat memunculkan radikal bebas dan mengurangi kandungan protein. Antioksidan merupakan suatu senyawa yang dapat menangkal radikal bebas, mempertahankan kandungan protein, mengurangi faktor ketengikan (asam lemak bebas), dan memberikan cita rasa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh antioksidan daun sukun, lada putih, dan lengkuas terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro dari oven microwave. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai faktor-g yang didapat berkisar antara 1,9707-1,9883 yang menunjukkan jenis radikal bebas hidroperoksida (ROOH). Antioksidan dapat mengurangi kandungan radikal bebas dan asam lemak bebas serta meningkatkan kandungan protein, dimana lengkuas merupakan antioksidan yang paling baik.

Kata kunci: *Microwave*, radikal bebas, protein, asam lemak bebas, antioksidan



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



THE EFFECT OF BREADFRUIT LEAVES, WHITE PEPPER, AND GALANGAL TO FREE RADICAL, PROTEIN AND FREE FATTY ACIDS IN BEEF COOKED BY MICROWAVE OVEN

ABSTRACT

Microwave oven is a kitchen appliance that uses microwave radiation to cooking or heating food in a relatively short time. In addition, the using of microwave oven can reduce the number of bacteria and free fatty acid in beef. But on the other hand, it can cause free radicals and reduce the protein of beef. Antioxidants are a compound which can inhibit free radicals, maintaining protein, reducing free fatty acids, and giving flavor. The aim of this research is to analyze the effect of breadfruits leaves, white pepper, and galangal on the free radicals, proteins and free fatty acids of beef exposed to microwave radiation from microwave oven. The result shows the g-values were about 1.9707-1.9883 and the type of free radical is hydroperoxide (ROOH). Antioxidant can reduce the free radical, free fatty acids, and increase the protein, while galangal is the greatest antioxidant.

Keywords: Microwave, free radicals, protein, free fatty acid, antioxidant



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala anugerah dan karunia-Nya. Berkat izin-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dalam rangka memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang fisika. Selama penyelesaian laporan ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang setulusnya kepada :

1. Kedua Orang Tua dan keluarga, teristimewa Ayahanda Rifai, Ibunda Sakmah, kakak-kakak dan adik tercinta. Terimakasih atas semangat yang dikirimkan dan keikhlasan memanjatkan doa yang ditiptkan serta kasih sayang yang tiada habisnya
2. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda, selaku Ketua Jurusan Fisika atas izin yang diberikan
3. Ibu Dr. Eng. Masrurroh, S.Si., M.Si, selaku dosen pembimbing akademik dan Ketua Program Studi Fisika FMIPA Universitas Brawijaya
4. Bapak Drs. Unggul Pundjung Juswono, M.Sc, selaku dosen pembimbing pertama atas segala bimbingannya
5. Ibu Firdy Yuana, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua atas bimbingannya
6. Selin Lusiana, Putri Devita Kusuma Damayanti, Windi Lestari, Dedy Setyawan, Hany Putri Yuliati, Shella Putri Saraswati, dan Diah Utami, selaku teman sebimbingan yang selalu ada untuk berbagi informasi, cerita, dan curahan hati baik dalam konteks materi bimbingan maupun yang lain
7. Teman-teman bimbingan UPJ 2014 atas kebersamaan yang telah diberikan
8. Tatang Laguna terkasih atas waktu, tenaga, dan motivasi yang sudah diberikan

Penulis menyadari dengan sepenuhnya bahwa laporan yang telah disusun ini masih belum dikatakan sempurna. Segala masukan dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dari penulis dimasa yang akan datang.

Penulis



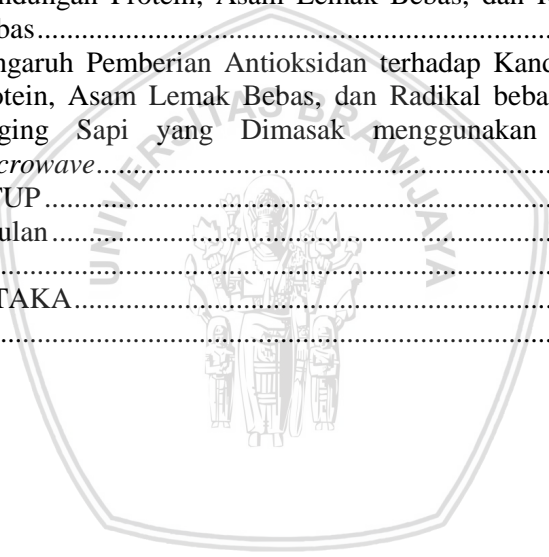
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Daging Sapi.....	5
2.2 Oven Gelombang Mikro.....	6
2.3 Radikal Bebas.....	10
2.4 Antioksidan.....	12
2.5 Daun Sukun.....	12
2.6 Rempah-rempah.....	14
2.6.1 Lada Putih.....	15
2.6.2 Lengkuas.....	16
2.7 <i>Electron Spin Resonance</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.3 Tahap Penelitian.....	21
3.3.1 Persiapan Bahan Antioksidan.....	22
3.3.2 Persiapan Sampel Daging Sapi.....	23
3.3.3 Pemberian Antioksidan.....	23
3.3.4 Pemaparan Sampel menggunakan Oven <i>Microwave</i> ...	23
3.3.5 Uji Radikal Bebas.....	24
3.3.6 Analisis data.....	25



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Hasil Penelitian	27
4.1.1 Kalibrasi Perangkat ESR.....	27
4.1.2 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Sampel Kontrol 1	28
4.1.3 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Sampel Kontrol 2	28
4.1.4 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Sampel Uji	31
4.2 Pembahasan	35
4.2.1 Pengaruh Radiasi Gelombang Mikro terhadap Kandungan Protein, Asam Lemak Bebas, dan Radikal Bebas.....	36
4.2.2 Pengaruh Pemberian Antioksidan terhadap Kandungan Protein, Asam Lemak Bebas, dan Radikal bebas pada Daging Sapi yang Dimasak menggunakan Oven <i>Microwave</i>	38
BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
7.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Bagian-bagian daging sapi	6
Gambar 2. 2 : Skema cara kerja oven <i>microwave</i>	7
Gambar 2. 3: Bagan-bagian magnetron.....	7
Gambar 2. 4: <i>Waveguide</i>	8
Gambar 2. 5: <i>Microwave stirrer</i>	8
Gambar 2. 6: Spektrum gelombang elektromagnetik.....	9
Gambar 2. 7: Daun sukun.....	13
Gambar 2. 8: Lada putih.....	15
Gambar 2. 9: Lengkuas	17
Gambar 2. 10: Pembagian tingkat energi spin ketika diberikan medan magnet.....	19
Gambar 3. 1: Alur penelitian.....	22
Gambar 3. 2: Sampel yang dioven	23
Gambar 3. 3: Sampel uji.....	24
Gambar 3. 4: Rangkaian Alat ESR.....	24
Gambar 3. 5: Perhitungan kedalaman cekungan kurva resonansi menggunakan <i>Microsoft Word</i>	26
Gambar 4. 1: Kurva resonansi DPPH.....	27
Gambar 4. 2: Kurva resonansi sampel kontrol 1	28
Gambar 4. 3: Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kandungan protein daging sapi	29
Gambar 4. 4: Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi	30
Gambar 4. 5: Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kandungan asam lemak bebas (FFA).....	31
Gambar 4. 6: Grafik pengaruh antioksidan lada putih, daun sukun, dan lengkuas terhadap kandungan protein pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven <i>microwave</i>	32
Gambar 4. 7: Grafik pengaruh antioksidan lada putih, daun sukun, dan lengkuas terhadap kandungan radikal bebas pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven <i>microwave</i>	33
Gambar 4. 8: Grafik pengaruh antioksidan lada putih, daun sukun, dan lengkuas terhadap kandungan asam lemak bebas pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven <i>microwave</i>	34
Gambar 4. 9: Struktur umum molekul protein	36

Gambar 4. 10: Reaksi pembentukan asam lemak bebas37

Gambar 4. 11: Mekanisme pendonoran elektron oleh antioksidan ..39

Gambar 4. 12: Interaksi radikal protein (P^*) dengan senyawa flavonoid dan fenol dari antioksidan daun sukun dan lengkuas40

Gambar 4. 13: Interaksi radikal protein (P^*) dengan senyawa vitamin C dari lada putih40

Gambar 4. 14: Interaksi radikal peroksida (ROOH) dengan senyawa flavonoid dan fenol dari antioksidan daun sukun dan lengkuas41

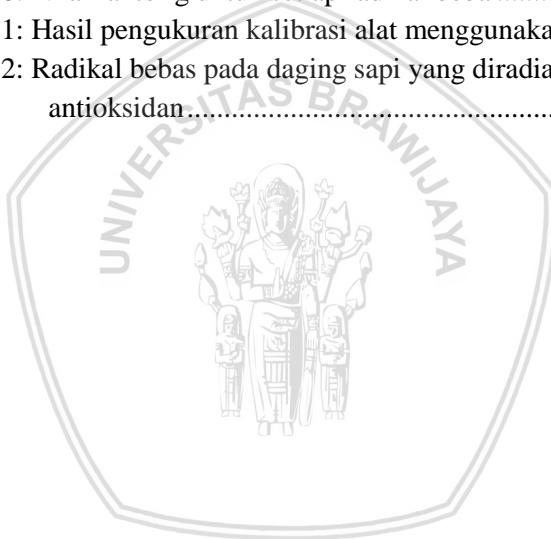
Gambar 4. 15: Interaksi radikal hidroperoksida (ROOH) dengan senyawa vitamin C dari lada putih41

Gambar 4.16: Interaksi molekul air dengan senyawa antioksidan flavonoid, fenol, dan vitamin C42



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Kandungan gizi daging sapi	5
Tabel 2. 2: Kandungan flavonoid untuk tiap jenis daun sukun	13
Tabel 2. 3: Kadar fenolik dan tanin terkondensasi ekstrak daun sukun	14
Tabel 2. 4: Senyawa kimia daun sukun	14
Tabel 2. 5: Kandungan vitamin pada lada putih	15
Tabel 2. 6: Komposisi Kimia Lada per 100% Bahan	16
Tabel 2. 7: Kadar total fenol pada ekstrak lengkuas	17
Tabel 2. 8: Nilai faktor g untuk setiap radikal beba	19
Tabel 4. 1: Hasil pengukuran kalibrasi alat menggunakan DPPH...27	
Tabel 4. 2: Radikal bebas pada daging sapi yang diradiasi tanpa antioksidan	29





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar alat dan bahan.....	51
Lampiran 2. Foto kurva lissajous	52
Lampiran 3. Data hasil perhitungan nilai faktor-g daging sapi yang dioven tanpa antioksidan.....	55
Lampiran 4. Data hasil perhitungan nilai faktor-g daging sapi yang diradiasi dengan lada putih (lama waktu pemaparan 7 menit)	56
Lampiran 5. Data hasil perhitungan nilai faktor-g daging sapi yang diradiasi dengan lengkuas (lama waktu pemaparan 7 menit)	57
Lampiran 6. Data hasil perhitungan nilai faktor-g daging sapi yang diradiasi dengan daun sukun (lama waktu pemaparan 7 menit)	58
Lampiran 7. Data hasil perhitungan kuadrat kedalaman cekungan kurva lissajous pada daging sapi yang diberi antioksidan kemudian dioven selama 7 menit.....	59
Lampiran 8. Kandungan protein dan FFA pada daging sapi segar dan daging sapi yang dioven	60
Lampiran 9. Kandungan protein dan FFA pada daging sapi yang ditambahkan antioksidan kemudian dioven dengan lama waktu pemaparan 7 menit.....	60
Lampiran 10. Sertifikat bebas plagiasi	61





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daging sapi merupakan bahan pangan yang kaya akan nutrisi dan sumber protein dengan kualitas yang tinggi dimana di dalamnya terkandung semua asam amino esensial (Negro *et al.*, 2014). Menurut Badan Ketahanan Pangan dan Penyuluhan Provinsi DIY (2014), kandungan gizi yang terdapat pada daging sapi yaitu kalori, protein, lemak, kalsium, posfor, zat besi, air, vitamin A dan vitamin B1. Sehingga daging sapi banyak diminati oleh masyarakat dengan adanya kandungan gizi yang tinggi di dalamnya.

Oven *microwave* merupakan peralatan dapur yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memasak atau memanaskan makanan dalam waktu yang relatif lebih singkat. Penggunaan gelombang mikro dalam memanaskan bahan telah ada sejak tahun 1930 hingga berkembang sampai sekarang (Fayeldi dan Nurhakim, 2012). Sehingga dapat dimungkinkan banyak masyarakat modern yang menggunakan oven *microwave*.

Daging sapi yang dimasak menggunakan oven *microwave* akan menghasilkan adanya radikal bebas pada daging sapi, menurunkan kadar gizi di dalamnya dan mempengaruhi kualitas bahan pangan (Handayani, 2017). Radikal bebas yang menumpuk di dalam tubuh akan menyebabkan beberapa kerusakan jaringan dan dapat memicu berbagai macam penyakit. Ketika tubuh tidak mampu memperbaiki kerusakan tersebut maka akan terjadi stres oksidatif (*oxidative stress*) yaitu kondisi dimana zat antioksidan di dalam tubuh tidak mampu mengatasi kelebihan zat oksidan di dalam tubuh (Dasgupta dan Klein, 2014).

Panas yang dihasilkan oleh radiasi gelombang mikro akan menguapkan air, mendegradasi protein, mengubah komposisi asam amino dan pengembangan jaringan ikat sehingga akan mempengaruhi keempukan daging sapi (Mayasari, 2015). Selain itu, oven *microwave* dapat mengurangi kandungan asam lemak bebas pada bahan makanan sehingga dapat memperpanjang masa simpannya (Purnomo, 2013).

Antioksidan merupakan senyawa yang dapat menetralkan atau memperbaiki kerusakan didalam tubuh akibat adanya radikal bebas

dan memperlambat atau mencegah proses oksidasi. Daun sukun mengandung senyawa flavonoid yang dapat dijadikan sebagai antioksidan alami (Mardiana, 2012). Beberapa penelitian telah menguji antioksidan dalam berbagai rempah-rempah yang sering digunakan sebagai bumbu masakan. Rempah-rempah dapat dijadikan sebagai antioksidan alami karena mengandung tokoferol, asam askorbat dan flavonoid (Mu'nisa *et al.*, 2012). Berdasarkan penjelasan diatas, daun sukun, lada putih, dan lengkuas memiliki sifat antioksidan yang dapat mengurangi radikal bebas pada daging sapi yang terpapar radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oleh oven *microwave* dan dapat mengurangi kerusakan gizi yang terkandung dalam daging sapi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh pemberian daun sukun, lada putih, dan lengkuas terhadap kandungan radikal bebas, protein dan asam lemak bebas pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven gelombang mikro.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh pemberian daun sukun, lada putih, dan lengkuas dalam menurunkan kandungan radikal bebas, asam lemak bebas serta menjaga kandungan protein pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven gelombang mikro dengan variasi waktu pemaparan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh pemberian daun sukun, lada putih, dan lengkuas dalam menurunkan kandungan radikal bebas, asam lemak bebas serta pengaruhnya dalam menjaga kandungan protein daging sapi yang dimasak menggunakan oven gelombang mikro dengan variasi waktu pemaparan.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan daging sapi bagian has luar (*sirloin*), daun sukun tua, lada putih, dan lengkuas yang didapatkan dari pasar tradisional. Temperatur dan energi yang dipancarkan oleh oven radiasi gelombang mikro tidak diukur.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pengaruh pemberian daun sukun, lada putih, dan lengkuas terhadap kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven gelombang mikro sehingga dapat diterapkan dalam proses pengolahan bahan makanan oleh masyarakat.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Daging Sapi

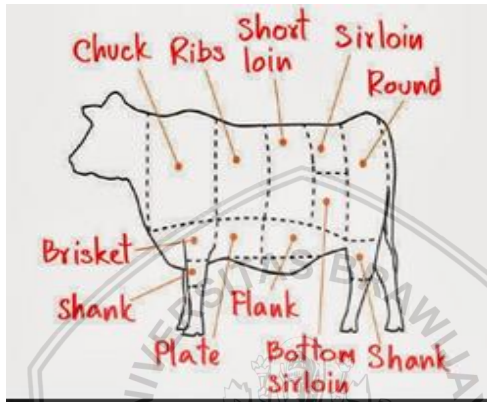
Daging sapi merupakan bahan pangan yang kaya akan nutrisi dan sumber protein dengan kualitas yang tinggi dimana di dalamnya terkandung semua asam amino esensial (Negro *et al.*, 2014). Menurut Badan Ketahanan Pangan dan Penyuluhan Provinsi DIY (2014), kandungan gizi yang terdapat pada daging sapi yaitu kalori, protein, lemak, kalsium, posfor, zat besi, air, vitamin A dan vitamin B1. Jumlah dari masing-masing kandungan daging sapi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1: Kandungan gizi daging sapi (BKKPPP Yogyakarta., 2014)

Jenis zat gizi	Jumlah kandungan (satuan)
Kalori	207 (kal)
Protein	18,8 (g)
Lemak	14 (g)
Kalsium	11 (mg)
Posfor	170 (mg)
Zat besi	2,8 (g)
Air	66 (g)
Vitamin A	30 (SI)
Vitamin B1	0,08 (mg)

Daging sapi dapat dibagi menjadi beberapa bagian yaitu sengkel (*shank*), sandung lamur (*brisket*), has dalam (*tenderloin*), has luar (*sirloin*), sancan (*flank*), lamusir (*cube roll*), gandik (*silver side*), tetelan dan tanjung (*rump*). Sengkel (*shank*) adalah daging sapi bagian depan atas kaki sapi. Sandung lamur (*brisket*) adalah daging sapi bagian dada bawah sekitar ketiak dan berlemak. Has dalam (*tenderloin*) adalah daging sapi bagian tengah badan dan paling lunak. Has luar (*sirloin*) adalah daging sapi bagian bawah daging iga sampai ke bagian luar has dalam. Sancan (*flank*) adalah daging sapi yang berasal dari otot perut yang berbentuk panjang dan datar.

Lamusir (*cube roll*) adalah daging sapi bagian belakang sekitar has dalam, has luar dan tanjung. Gandik (*silver side*) adalah daging sapi bagian paha belakang paling luar. Tetelan merupakan sisi daging yang melekat pada tulang. Tanjung (*rump*) adalah daging sapi bagian punggung belakang (Tim Dapur Demedia, 2008). Bagian-bagian daging sapi dapat dilihat pada Gambar 2.1.

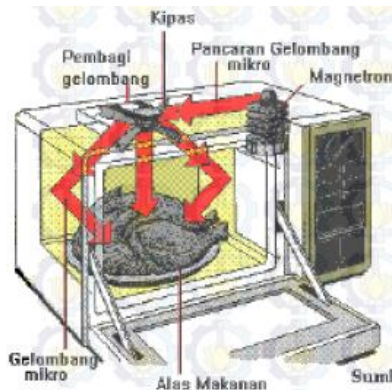


Gambar 2. 1: Bagian-bagian daging sapi

Bagian daging sapi yang biasa diolah menjadi *steak* dengan cara dipanggang yaitu daging yang terdapat pada bagian has luar (*sirloin*) dan bagian has dalam (*tenderloin*). Bagian has luar dan has dalam ini merupakan golongan daging yang terlunak sehingga cocok sebagai bahan *steak* (Indriani, 2013). Dalam penelitian ini menggunakan daging sapi bagian has luar (*sirloin*).

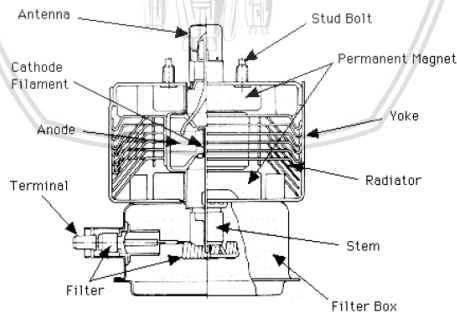
2.2 Oven Gelombang Mikro

Oven gelombang mikro merupakan salah satu peralatan dapur yang menggunakan radiasi gelombang mikro untuk memasak atau memanaskan makanan dalam waktu yang relatif lebih singkat. Penggunaan gelombang mikro dalam memanaskan bahan telah ada sejak tahun 1930 hingga berkembang sampai sekarang (Fayeldi dan Nurhakim, 2012). Oven *microwave* terdiri dari komponen magnetron, *waveguide* dan *microwave stirrer* (Syahputra, 2015). Skema kerja oven *microwave* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 : Skema cara kerja oven *microwave*

Magnetron atau bagian inti dari oven *microwave* adalah pengubah energi listrik menjadi radiasi gelombang mikro. Bagian-bagian magnetron dapat dilihat pada Gambar 2.3. Radiasi gelombang mikro dihasilkan dari elektron yang dipancarkan katode ditarik oleh anode yang mengelilingi katode. Magnet permanen akan menyebabkan elektron-elektron bergerak dalam jalur melingkar secara bersamaan sehingga menghasilkan gelombang medan magnet secara terus-menerus (Syahputra, 2015). Radiasi gelombang mikro yang dihasilkan diarahkan ke *waveguide* oleh antenna magnetron (Mayasari, 2015).



Gambar 2. 3: Bagan-bagian magnetron

Waveguide berfungsi untuk meneruskan atau mengarahkan gelombang yang terbuat dari bahan konduktor (Syahputra, 2015). *Waveguide* akan memantulkan gelombang mikro sehingga menyebabkan gelombang mikro mengalir dalam ruang oven dan



diteruskan ke *microwave stirrer* (Mayasari, 2015). Bentuk *waveguide* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4: *Waveguide*

Microwave stirrer berbentuk baling-baling berkombinasi dengan komponen piringan yang dapat berputar sehingga tingkat kematangan merata pada bahan makanan (Syahputra, 2015). Radiasi gelombang mikro akan mengalami pemantulan oleh dinding oven dan diserap oleh molekul-molekul makanan. Molekul-molekul makanan akan bergerak dan saling bertumbukan satu sama lain sehingga makanan menjadi panas (Mayasari, 2015).

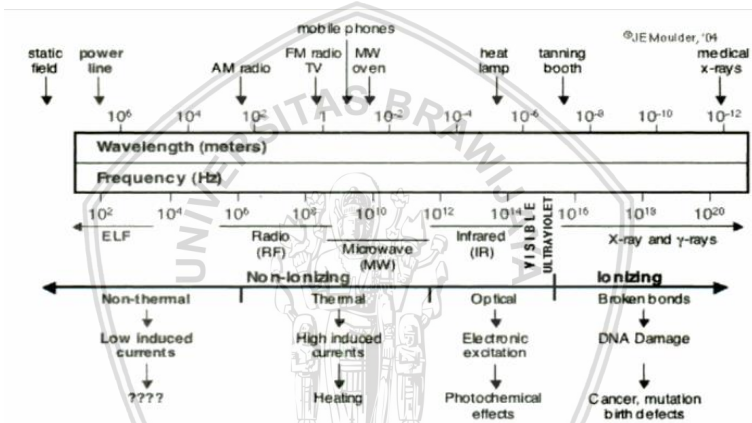


Gambar 2. 5: *Microwave stirrer*

Posisi pemanasan maupun pemasakan bahan makanan yang optimum pada oven *microwave* terletak di tengah rongga memasak (*cooking cavity*) dari oven *microwave*. Hal ini disebabkan karena pada posisi tersebut bahan makanan yang dimasak berhadapan

langsung dengan pandu gelombang (*waveguide*) pemancar gelombang mikro (Handayani, 2017).

Radiasi gelombang mikro merupakan salah satu radiasi gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi antara 300 MHz sampai 30 GHz dengan kisaran panjang gelombang sebesar 1 cm sampai 1 m (Horikoshi dan Serpone, 2013). Radiasi gelombang mikro merupakan radiasi elektromagnetik yang bersifat non pengion. Radiasi non pengion merupakan radiasi yang tidak dapat menimbulkan proses ionisasi ketika berinteraksi dengan suatu materi. Spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.6 (Anies, 2009).



Gambar 2. 6: Spektrum gelombang elektromagnetik

Transfer energi merupakan karakteristik utama dari pemanasan radiasi gelombang mikro yang terbagi menjadi dua mekanisme yaitu rotasi dipol (*dipole rotation*) dan konduksi ionik (*ionic conduction*). Rotasi dipol merupakan penyusunan kembali dipol-dipol ketika diberi medan sedangkan konduksi ionik merupakan suatu perpindahan elektroforesis dari ion ketika diberi medan elektromagnetik (Chemat dan Cravotto, 2013).

Radiasi gelombang mikro dapat berinteraksi dengan molekul polar dan partikel bermuatan. Radiasi gelombang mikro dapat menyebabkan partikel berotasi dalam usaha menyesuaikan diri dengan medan elektromagnetik yang dihasilkan. Energi gelombang dapat meningkatkan energi kinetik yang dapat menyebabkan getaran antar molekul sehingga menjadi panas (Mukhlis, 2014).

Radiasi elektromagnetik terdiri dari paket energi yang diskret yang disebut dengan foton yang memiliki energi bergantung dari frekuensi radiasi ν yang dapat dinyatakan dalam persamaan (2.1) :

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

h merupakan konstanta Plank sebesar $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{Js}$ (Gaeutreau dan Savin, 2006).

Pemanasan atau pemasakan daging sapi menggunakan oven *microwave* dapat membentuk senyawa radikal bebas dalam daging sapi. Selain itu, protein yang terkandung di dalam daging akan dipecah oleh enzim-enzim di dalamnya kemudian menghasilkan senyawa amoniak dan asam sulfat ketika daging dibiarkan dalam ruang terbuka (Zahra, 2012). Selain itu, oven *microwave* dapat menurunkan kandungan asam lemak bebas sehingga dapat memperpanjang masa simpan suatu bahan makanan (Purnomo, 2013).

2.3 Radikal Bebas

Radikal bebas merupakan suatu atom, unsur, molekul, atau senyawa yang memiliki satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan pada kulit terluarnya. Senyawa radikal bebas ini sangat reaktif dan dapat merusak jaringan untuk mencari pasangan elektron tidak berpasangannya. Senyawa radikal bebas dalam tubuh dapat timbul akibat dari adanya proses kimia yaitu proses oksidasi atau pembakara sel yang berlangsung ketika bernafas, metabolisme sel, olahraga yang berlebihan, peradangan atau ketika tubuh terpapar polusi lingkungan dan terkena radiasi matahari atau radiasi kosmis. Radikal bebas yang terbentuk dalam tubuh dapat dicegah dengan suatu substansi yang mampu menangkap radikal tersebut sehingga tidak memicu suatu penyakit (Fauziah, Juswono dan Herwiningsih, 2012).

Radikal yang bersifat sangat reaktif dapat membentuk ikatan dengan lipid, protein maupun DNA sehingga radikal berbahaya bagi sel (Anggarani, 2012). Jika radikal bebas berikatan dengan protein maka akan menyebabkan fragmentasi dan *Cross-linking*. Proses ini dapat mempercepat terjadinya proteolisis. Jika radikal bebas berikatan dengan lipid maka dapat menyebabkan reaksi peroksida

yang menghasilkan proses otolitik yang akan menjalar menjauhi tempat asal reaksi semula. Jika radikal bebas berikatan dengan nukleotida maka dapat menyebabkan mutasi atau sitotoksitas pada struktur DNA atau RNA. Selain itu, radikal bebas dapat berpengaruh pada gugus tiol enzim yaitu dapat menyebabkan perubahan aktivitas enzim tersebut (Astuti, 2009).

Senyawa radikal bebas memiliki masa hidup yang pendek dan mengalami polimerasi dan membentuk polimer yang lain. Oleh karena itu, radikal bebas tersebut bertransformasi menjadi rantai baru. Terdapat tiga tahapan dalam polimerasi radikal bebas (Ducheyne *et al.*, 2015), yaitu:

1. Inisiasi

Inisiasi merupakan tahap terbentuknya radikal bebas melalui proses pembelahan (fisi) homolitik ikatan kovalen (Cairns, 2008). Pembelahan homolitik sering disebut sebagai pembelahan simetris atau pembelahan yang homogen pada ikatan kovalen masing-masing atom. Masing-masing atom yang berikatan menarik elektron dari pasangan elektron ikatan kovalen yang ada. Reaksi pembelahan homolitik dapat dilihat pada Persamaan 2.2 (Sumardjo, 2006):



Hasil reaksi pembelahan homolitik menunjukkan bahwa senyawa A dan B memiliki sebuah elektron yang tidak berpasangan serta bersifat reaktif (radikal bebas) mudah bereaksi dengan molekul lain (Sumardjo, 2006). Sumber energi yang berpengaruh dalam reaksi ini yaitu sinar ultraviolet (Cairns, 2008).

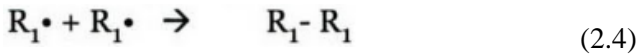
2. Propagasi

Propagasi merupakan proses pemanjangan rantai radikal (Winarsi, 2007). Radikal bebas yang telah dibentuk akan bereaksi bersama-sama membentuk radikal baru yang identik seperti radikal bebas sebelumnya. Reaksi propagasi dapat dilihat pada Persamaan 2.3 (Ducheyne *et al.*, 2015):



3. Terminasi

Terminasi merupakan tahap akhir dari reaksi berantai. Radikal bebas bereaksi dengan radikal lain atau menangkap radikal sehingga tahap propagasi terhenti (Winarsi, 2007). Reaksi radikal bebas dengan radikal lain atau penangkap radikal akan membentuk ikatan kovalen dan menghasilkan senyawa yang stabil (Cairns, 2008). Reaksi terminasi dapat dilihat pada Persamaan 2.4:



2.4 Antioksidan

Antioksidan dapat menetralkan atau memperbaiki kerusakan di dalam tubuh akibat adanya radikal bebas dan memperlambat atau mencegah proses oksidasi (Mardiana, 2012). Aktifitas senyawa antioksidan disebut antioksidatif (Hernawan dan Setyawan, 2003). Antioksidan merupakan salah satu zat gizi yang terkandung dalam makanan. Ketika makanan tersebut dikonsumsi oleh tubuh maka antioksidan tersebut dapat mencegah pembentukan radikal bebas dan mencegah reaksi berantai. Antioksidan biasanya dapat diperoleh dari tumbuh-tumbuhan berupa buah-buahan dan rempah-rempah (Fauziah, Juswono dan Herwiningsih, 2012).

Secara umum mekanisme kerja antioksidan adalah menghambat oksidasi lemak (Praja, 2015). Oksidasi DNA, Protein, dan lemak disebabkan oleh adanya oksigen reaktif (*reactive oxygen species/ ROS*). Proses Oksidasi ini menjadi faktor utama kasus penuaan dini, penyakit kardiovaskular, kanker, neurodegenerasi, dan inflamasi (Hernawan dan Setyawan, 2003). Bahan pangan mengandung dua jenis antioksidan yaitu antioksidan primer dan antioksidan sekunder. Antioksidan primer merupakan jenis antioksidan yang dapat melindungi sel dari kerusakan akibat adanya radikal bebas sedangkan antioksidan sekunder merupakan jenis antioksidan yang dapat memperbaiki kerusakan sel akibat adanya oksidasi oleh radikal bebas (Puspaningtyas, 2013).

2.5 Daun Sukun

Tanaman sukun termasuk dalam divisi Spermatophyta, subdivisi Angiospermae, kelas Dicotyledonae, ordo Urticales, family Moraceae, genus *Artocarpus*, dan spesies *Artocarpus*

communis (Triwiyatno, 2003). Pada Gambar 2.7 menunjukkan tanaman daun sukun.



Gambar 2. 7: Daun sukun

Daun sukun telah banyak digunakan untuk mengobati berbagai macam penyakit yaitu, jantung, diabetes mellitus, rematik dan batu ginjal. Daun sukun mengandung saponin, polifenol, asam hidrosianat, kalium, asetilcolin, tanin, riboflavin, phenol serta flavonoid. Kandungan flavonoid pada daun sukun dapat bersifat sebagai antidiabetes kuat, antikanker, antiinflamasi, antiaterosklerosis dan antiplatelet (Mardiana, 2012). Kandungan flavonoid pada daun sukun dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2: Kandungan flavonoid untuk tiap jenis daun sukun (Mardiana, 2012)

Jenis Daun Sukun	Jumlah Flavonoid (mg/g)
Muda	100,68
Tua	87,03
Tua yang sudah gugur	42,89

Flavonoid yang terkandung dalam daun sukun bersifat antioksidan. Flavonoid ini berfungsi menangkap senyawa radikal bebas sehingga tidak terjadi stres oksidatif dalam tubuh. Senyawa antioksidan dalam daun sukun merupakan antioksidan primer. Jika dibandingkan dengan vitamin C dan BHT (antioksidan sintesis), ekstrak methanol daun sukun memiliki kandungan antioksidan yang

lebih tinggi (Harmanto, 2012). Kandungan total fenolik dan tanin pada daun sukun dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Suryanto dan Wehantouw, 2008).

Tabel 2. 3: Kadar fenolik dan tanin terkondensasi ekstrak daun sukun (EM: ekstrak metanol, EE: ekstrak etanol, EA: ekstrak aseton) (Suryanto and Wehantouw, 2008)

Sampel	Fenolik (mg/kg)	Tanin (mg/kg)
EM	179,89	74,80
EE	152,55	71,80
EA	62,46	38,80

Senyawa kimia yang terdapat pada daun sukun berupa air, lemak, protein, abu, dan karbohidrat (Rizqi, 2014). Jumlah senyawa kimia yang terdapat pada daun sukun dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4: Senyawa kimia daun sukun (Rizqi, 2014)

Komposisi	Jumlah (%)
Air	7,58
Abu	16,32
Protein	6,05
Lemak	11,30
Karbohidrat	58,75

2.6 Rempah-rempah

Rempah-rempah merupakan salah satu kekayaan Indonesia. Rempah-rempah adalah bagian tanaman yang berasal dari batang, daun, kulit kayu, umbi, rimpang (*rhizome*), akar, biji, dan bunga. Rempah-rempah bersifat aromatik yang digunakan sebagai pemberi cita rasa, jamu, kosmetik, pengawet dan antimikroba (Hakim, 2015). Rempah-rempah dapat dijadikan sebagai antioksidan alami karena mengandung tokoferol, asam askorbat dan flavonoid (Mu'nisa *et al.*, 2012). Dalam penelitian ini menggunakan rempah-rempah lada putih dan lengkuas.

2.6.1 Lada Putih

Lada putih termasuk dalam divisi Spermatophyta, subdivisi Angiospermae, kelas Monocotyledonae, ordo Piperales, famili Piperaceae, genus Piper, dan spesies *Piper nigrum* Linn (Sarpian, 2003). Lada putih dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8: Lada putih

Lada putih (*Piper nigrum* Linn) mengandung antioksidan yang dapat mengurangi dampak kerusakan sel akibat adanya radikal bebas. Antioksidan yang terkandung di dalamnya adalah senyawa flavonoid, vitamin A dan C. Lada putih sama halnya dengan cabai, dimana zat yang terkandung di dalamnya dapat menurunkan tekanan darah tinggi. Kandungan nutrisi yang paling banyak pada lada putih yaitu vitamin K, vitamin A, vitamin E dan vitamin C. Selain itu lada putih mengandung rantai vitamin B, serat, karbohidrat dan protein. Kandungan kolesterol dan kadar gula pada lada putih sangat rendah (Mayasari, 2015). Kandungan vitamin dan mineral lada putih dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5: Kandungan vitamin pada lada putih (Risfaheri, 2012)

Jenis Vitamin	Nilai Nutrien
Coline	11,3 mg
Asam folat	10 mcg
Niasin	1,142 mg
Piridoksin	0,340 mg
Riboflavin	0,240 mg
Tiamin	0,109 mg
Vitamin A	299 IU
Vitamin C	21 mg
Vitamin E	4,56 mg
Vitamin K	163,7 mcg

Selain itu, senyawa kimia yang terdapat pada lada putih yaitu piperin, piperidin, lemak asam piperat, chavisin dan minyak yang terdiri dari felanden, kariofilen dan terpen-terpen. Minyak esensial yang terkandung di dalam lada putih hanya berkisar 1%. Lada putih dapat menghambat diskolorisasi dan menghambat pertumbuhan mikroba (Novitasari, 2014). Komposisi kimia lainnya yang terkandung dalam lada dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6: Komposisi Kimia Lada per 100% Bahan (Rahmadani, 2012; Risfaheri, 2012)

Komponen	Komposisi
Energi	359 kal
Air	13 g
Protein	11,5 g
Lemak	6,8 g
Karbon	64,4 g
Kalsium (Ca)	460 mg
Fosfor (P)	200 mg
Besi (Fe)	16,8 mg
Vitamin B	0,20 mg
Magnesium	194 mg
Mangan	5,625 mg
Tembaga	1,127 mg
Seng	1,42 mg

2.6.2 Lengkuas

Lengkuas termasuk dalam divisi Spermatophyta, subdivisi Angiospermae, kelas Monocotyledonae, ordo Zingiberales, famili Zingiberaceae, genus *Alpinia*, dan spesies *Alpinia galanga* (L) (Rusmarilin, 2003). Lengkuas atau laos (*Alpinia Galanga*) merupakan tanaman tahunan yang mengandung lamferida, galangin, minyak atsiri, sineol, kamfer, eugenol dan seskuioterpen galangol. Lengkuas dapat mencegah dan mengobati tumor, bersifat antiinflamasi, antioksidan, melancarkan peredaran darah, obat panu, pelancar haid, menyembuhkan asam urat dan meredakan diare (Rofiah, 2015). Lengkuas atau laos dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9: Lengkuas

Lengkuas mengandung senyawa fenol yang membuat lengkuas dapat dijadikan sebagai antibakteri yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen dan perusak pangan (Florensia, Dewi and Utami, 2012). Senyawa fenol pada lengkuas dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7: Kadar total fenol pada ekstrak lengkuas (Rosihan, 2015)

Sampel	Kadar Total Fenol (ppm GAE)
Ekstrak air dingin lengkuas	733,6
Ekstrak air panas lengkuas	1110,3
Ekstrak etilasetat lengkuas	746,3
Ekstrak N-Heksana Lengkuas	293,4

Selain senyawa fenol, lengkuas mengandung senyawa flavonoid berkisar antara 0.01-1% (Iswantini, Darusman dan Fitriyani, 2010). Lengkuas dapat digunakan sebagai penetral racun (antitoksik), penurun panas (antipiretik), menghilangkan rasa sakit (analgesik), pencegah kanker, anti tumor, antioksidan, dan anti radang. Jenis-jenis flavonoid yang terkandung dalam rimpang lengkuas yaitu galangin, kaemferol, dan kuersetin yang memiliki efek antioksidan yang sangat baik (Wibowo, 2013).

2.7 Electron Spin Resonance

Electron Spin Resonance (ESR) biasa disebut dengan resonansi elektron paramagnetik (EPR) atau resonansi elektron magnetik (EMR) merupakan sebuah eksperimen yang dapat

mendeteksi adanya kandungan radikal bebas (Reiger, 2007). ESR merupakan metode yang dapat digunakan untuk mempelajari aktivitas radikal bebas dengan mengamati medan magnet ketika elektron pada radikal bebas beresonansi dengan radiasi elektromagnetik (Nurjannah, Retnowati dan Juswono, 2013). Spin elektron dapat menghasilkan momen magnetik dengan asumsi elektron berputar pada porosnya serta membangkitkan momen dipol magnet. Spin elektron-elektron yang terdapat pada kulit atom yang tidak terisi penuh dapat menimbulkan momen magnet total pada atom (Hayt dan Buck, 2006).

Elektron mempunyai momentum angular intrinsik yang dinamakan momentum angular spin. Spin elektron dapat di lambangkan dengan bilangan kuantum $s = \frac{1}{2}$. Keadaan kuantum dapat di jelaskan dengan ke empat bilangan kuantum m_s yang dinamakan bilangan kuantum spin magnetic yang hanya memiliki dua nilai yaitu $\pm 1/2$. Magnitudo momentum angular spin adalah:

$$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2} + 1\right)}\hbar = \frac{\sqrt{3}}{2}\hbar \quad (2.5)$$

Untuk S arah z dinyatakan dengan persamaan (Serway dan Jewett, 2014):

$$S_z = m_s\hbar = \pm \frac{1}{2}\hbar \quad (2.6)$$

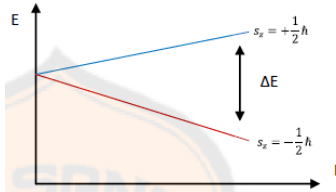
Pada eksperimen ESR, spin elektron akan mengalami transisi karena terjadinya penyerapan energi dari gelombang elektromagnetik oleh molekul yang memiliki elektron yang tidak berpasangan. Ketika elektron tidak diberikan medan magnet luar, semua kedudukan atau tingkat spin dari suatu elektron sama dengan arah yang tidak beraturan. Ketika elektron diberikan medan magnet luar maka energi elektron tersebut terbagi menjadi tingkat energi yang berbeda. Ilustrasi perbedaan tingkat energi dapat dilihat pada Gambar 2.10. Selisih kedua tingkat energi tersebut yaitu sebesar:

$$\Delta E = g \mu_B B \quad (2.7)$$

dengan $\Delta E = h\nu$, maka persamaan (2.7) menjadi (Limiansih, 2013):

$$h\nu = g \mu_B B \quad (2.8)$$

g merupakan faktor lande yang dapat memberikan informasi jenis radikal bebas yang terdeteksi. Nilai faktor- g untuk setiap radikal bebas berbeda-beda (Nurjannah, Retnowati dan Juswono, 2013). Nilai faktor- g untuk setiap radikal bebas dapat dilihat pada Tabel 2.8.



Gambar 2. 10: Pembagian tingkat energi spin ketika diberikan medan magnet

Tabel 2. 8: Nilai faktor g untuk setiap radikal bebas (Farihatin, 2014)

Nama Radikal	Nilai Faktor g
O ₂ ⁻	2,0356
O	1,501
Fe ²⁺	1,77
MnO ₂	1,8367
FeS	1,86
Hidroperoxida	1,9896
CO ₂ ⁻	1,99921-2,0007
Cu	1,997
SO ₄ ⁻	1,9976
Hidroxyyl	2,00047
Alkoxyl	2,0016-2,00197
Helium	2,002
Methanol	2,00205
Alkyl	2,00206
Hydrogen	2,00232
Methyl	2,00255-2,00286
DPPH	2,0036
SO ₃ ⁻	2,0037
Ethyl	2,0044
C	2,00505-2,00548
Peroxy	2,0155-2,0265
CuOx	2,098
CuGeO ₃	2,154
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	2,24
Cu-HA	2,289
Hg	4,0-4,5



Medan magnet dapat dihasilkan oleh kumparan Helmholtz yang terdiri dari dua buah kumparan kawat yang identik yaitu memiliki jumlah lilitan, ukuran, bentuk dan arus yang diberikan sama supaya menghasilkan medan magnet yang homogen (Limiansih, 2013). Medan magnet B yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan (2.9):

$$B = \mu_0 \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{n}{r} I \quad (2.9)$$

Eksperimen ESR ini berlaku efek zeeman yaitu peristiwa terpecahnya bilangan kuantum n (kulit atom) menjadi sub-sub keadaan ketika atom diberikan medan magnet. Sub-sub keadaan dapat memiliki energi yang lebih besar atau lebih kecil dari pada energi sebelum atom diberikan medan magnet. Sub-sub kulit ini akan membentuk garis spektrum dengan jarak setiap garis tergantung pada kuat medan magnet yang diberikan (Umar, 2008).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Waktu dan Tempat Penelitian

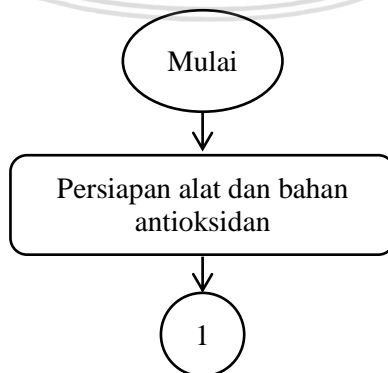
Penelitian yang mengambil judul “ Pengaruh Pemberian Daun Sukun, Lada Putih, dan Lengkuas terhadap Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Daging Sapi yang Dimasak menggunakan Oven Gelombang Mikro (*Microwave*)” ini dilaksanakan di Laboratorium Biofisika FMIPA UB , Laboratorium Fisika Lanjutan FMIPA UB dan Laboratorium Nutrisi Universitas Muhammadiyah Malang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2018 sampai bulan Mei 2018.

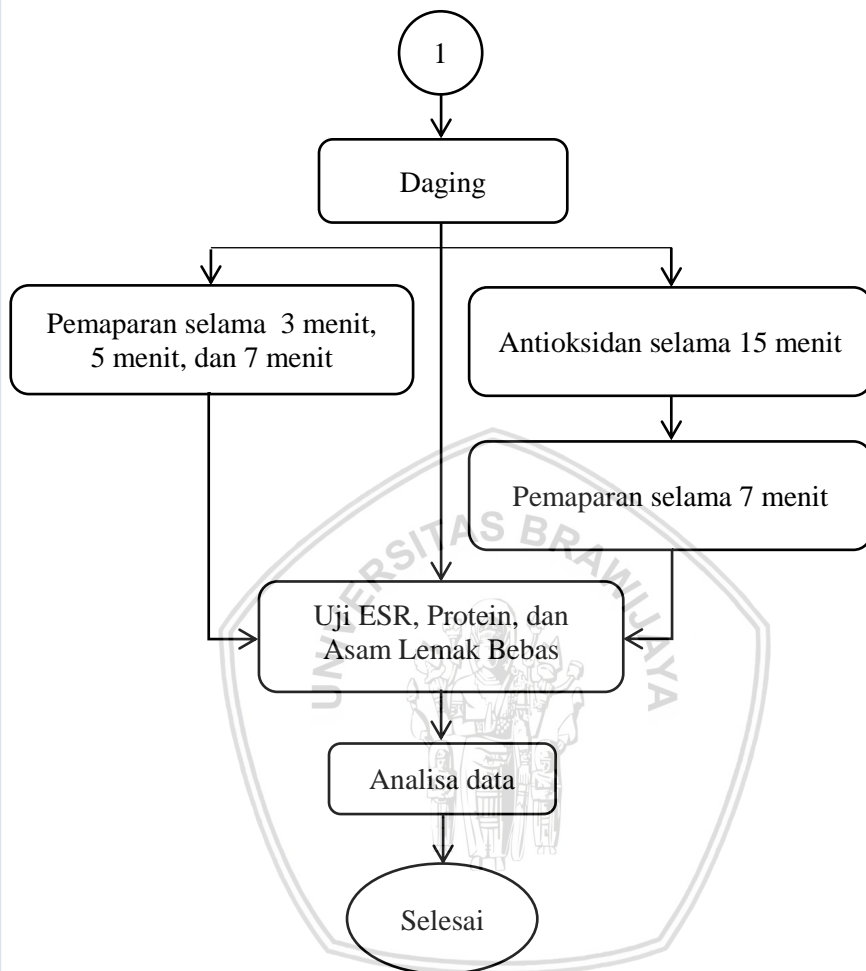
1.2 Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebuah oven *microwave*, gelas ukur, *juicer*, pisau, penggaris, timbangan, wadah sampel, dan satu set alat ESR Leybold-Heracus. Bahan yang digunakan adalah daging sapi, daun sukun, lada putih, lengkuas, DPPH, dan aquades. Analisa kandungan protein dan asam lemak bebas daging sapi diujikan di Laboratorium Nutrisi Universitas Muhammadiyah Malang.

1.3 Tahap Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap-tahap penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1: Alur penelitian

1.3.1 Persiapan Bahan Antioksidan

Bahan antioksidan daun sukun, lada putih dan lengkuas yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan yang belum diolah. Bahan antioksidan tersebut dihaluskan menggunakan *blender*. konsentrasi antioksidan dibuat dengan cara membandingkan massa zat terlarut dengan massa larutan. Cara menghitung konsentrasi bahan antioksidan dapat dilihat pada Persamaan 3.1. Variasi konsentrasi bahan antioksidan yang digunakan dalam penelitian yaitu 20%, 40%, 60%, 80% dan 100%.

$$\% \text{ massa} = \frac{\text{massa zat terlarut}}{\text{massa larutan}} \times 100\% \quad (3.1)$$

1.3.2 Persiapan Sampel Daging Sapi

Sampel yang digunakan berupa daging sapi mentah segar yang dipotong dengan ketebalan 0,5 cm dan massa 20 gram, kemudian dikelompokkan menjadi sampel kontrol dan sample uji. Sampel kontrol terdiri dari dua jenis yaitu sampel tanpa perlakuan apapun (sampel kontrol 1) dan sampel yang dioven tanpa antioksidan (sampel kontrol 2). Sedangkan sampel uji terdiri dari sampel ditambahkan bahan antioksidan kemudian dioven.

1.3.3 Pemberian Antioksidan

Antioksidan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu daun sukun, lada putih, dan lengkuas. Pemberian antioksidan dilakukan dengan cara daging sapi mentah segar direndam selama lima belas menit dengan bahan antioksidan kemudian dibungkus dengan plastik agar antioksidan dapat meresap ke dalam daging dan tidak ada kontak dengan udara luar. Kemudian, daging sapi yang telah direndam antioksidan diradiasi dengan oven *microwave*.

1.3.4 Pemaparan Sampel menggunakan Oven *Microwave*

Sampel kontrol 2 dan sampel uji dipapar menggunakan oven *microwave* dengan *low power*. Sampel dimasukkan ke dalam oven *microwave* dapat dilihat pada Gambar 3.2. Variasi waktu pemaparan yang digunakan yaitu 3 menit, 5 menit dan 7 menit. Setelah sampel



Gambar 3. 2: Sampel yang dioven

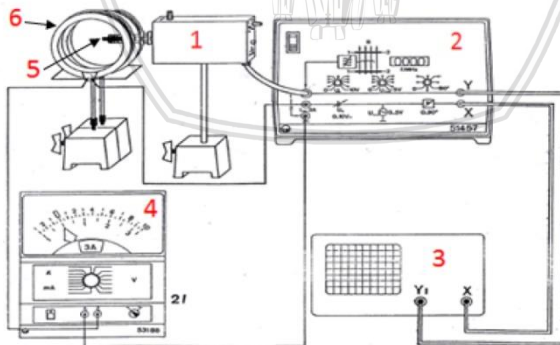
selesai dipapar, sampel dicincang kemudian dimasukkan ke dalam tabung durham yang ditutup dengan lem tembak seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3: Sampel uji

1.3.5 Uji Radikal Bebas

Alat yang digunakan yaitu ESR tipe Leybold-Heracus seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.4. Setiap alat perlu dikalibrasi terlebih dahulu supaya mendapatkan gambaran keakuratan pengukuran. Kalibrasi alat ESR dilakukan dengan cara menempatkan kumparan RF yang berisikan sampel DPPH (*Diphenyl Peryl Hidrazil*) di tengah-tengah kumparan Helmholtz, kemudian pengukuran frekuensi dilakukan pada ESR unit. Bentuk gambar yang dihasilkan pada osiloskop diatur menjadi bentuk cekungan V yang simetris dengan cara mengatur letak kumparan Helmholtz dan beda fase kurva melalui pengendali ESR, kemudian nilai arus (I) dan frekuensi (f) dicatat. Selanjutnya, uji radikal bebas pada sampel uji dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti proses kalibrasi DPPH.



Gambar 3. 4: Rangkaian Alat ESR. 1) ESR unit, 2) Pengendali ESR, 3) Osiloskop, 4) Multimeter, 5) Kumparan RF, 6) Kumparan Helmholtz

1.3.6 Analisis data

Data yang diperoleh berupa data frekuensi, arus dan gambar kurva resonansi. Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan sehingga didapatkan nilai medan magnet dan nilai faktor-g kemudian dibandingkan dengan literatur sehingga jenis radikal bebas yang ditimbulkan dapat diketahui. Besar medan magnet dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2 dan persamaan faktor-g dapat dilihat pada Persamaan 3.3.

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

dimana:

$$\mu_o = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am}$$

n = jumlah lilitan kumparan Helmholtz (320)

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

I = arus yang mengalir pada kumparan Helmholtz (A)

B = medan magnet eksternal (T)

$$g = \frac{hf}{\mu_B B} \quad (3.3)$$

dimana:

μ_B = magneton Bohr ($9,273 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$)

f = frekuensi resonansi (Hz)

h = konstanta planck ($6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}^2$)

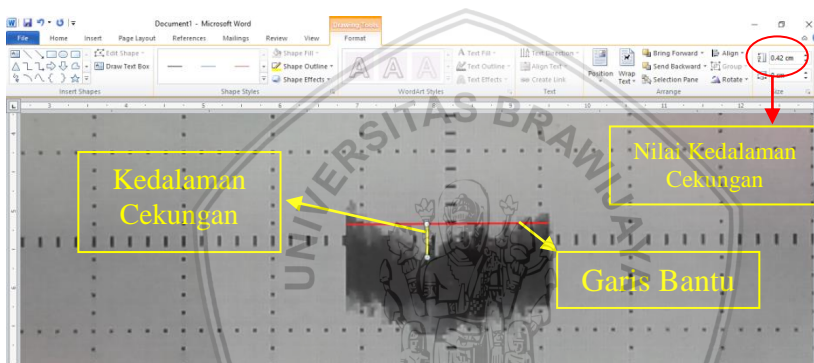
g = faktor lande

B = medan magnet eksternal (T)

Nilai faktor-g yang didapatkan menunjukkan jenis radikal bebas yang terdeteksi. Sedangkan untuk kadar radikal bebas ditunjukkan oleh besar kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi. Pengukuran kadar radikal bebas dilakukan dengan menggunakan bantuan *Line* yang terdapat di grup *Shapes* pada aplikasi *Microsoft Word*.

Gambar kurva resonansi dipotong sesuai dengan gambar yang dihasilkan oleh osiloskop. Kemudian gambar tersebut diperbesar sampai 350% untuk mempermudah perhitungan. Garis bantu horizontal lurus ditarik dari tepi ujung kiri atas sampai ujung kanan atas pada gambar kurva. Kemudian garis lurus vertikal ditarik dari

tengah garis bantu horizontal sampai menyesuaikan kedalaman cekungan kurva resonansi seperti pada Gambar 3.5. Ukuran panjang garis lurus vertikal pada *Format-size* dicatat dan dihitung dengan aplikasi *Microsoft Excel*. Hasil pengukuran kedalaman cekungan kurva resonansi dikuadratkan untuk mengetahui perbandingan kadar radikal dengan waktu pemaparan. Hasil yang diharapkan yaitu semakin lama waktu pemaparan maka semakin besar kedalaman kurva resonansi. Hasil perhitungan kedalaman kurva resonansi, protein dan asam lemak bebas akan dibuat grafik hubungan antara persentase konsentrasi antioksidan dan kedalaman kurva, kandungan protein serta kandungan asam lemak bebas.



Gambar 3. 5: Perhitungan kedalaman cekungan kurva resonansi menggunakan *Microsoft Word*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Kalibrasi Perangkat ESR

Perangkat ESR (*Electron Spin Resonance*) tipe Laybold Heracus dalam penelitian digunakan untuk mendeteksi adanya radikal bebas dan jenisnya yang terkandung dalam suatu bahan. Adanya radikal bebas dapat dilihat pada kurva yang membentuk huruf V atau kurva resonansi sedangkan jenis radikal bebas dapat dilihat dari nilai faktor-g yang didapatkan. Faktor-g didapatkan dari besar arus dan frekuensi yang diberikan. Kurva resonansi radikal bebas dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1: Kurva resonansi DPPH

Sebelum perangkat ESR digunakan, perangkat dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan kalibrator DPPH (*diphenyl picrylhydrazyl*) yang merupakan jenis radikal bebas bersifat stabil dan umum digunakan untuk kalibrasi. Kalibrasi perangkat ESR menggunakan DPPH dilakukan untuk mengukur keakuratan dari perangkat ESR dalam mendeteksi radikal bebas dari suatu bahan. Hasil pengukuran kalibrasi alat ESR dapat dilihat pada Tabel 4.1.

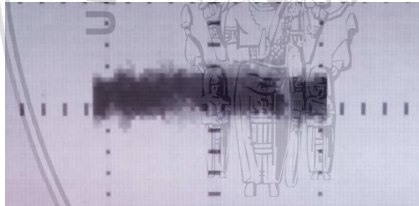
Tabel 4. 1: Hasil pengukuran kalibrasi alat menggunakan DPPH

Arus (A)	Medan Magnet (T)	Frekuensi (MHz)	Faktor-g Literatur	Faktor-g Eksperimen	Faktor Kalibrasi
0,197	0,00083	23,4	2,0036	2,0056	0,99901

Alat ESR dapat digunakan jika nilai faktor kalibrasi mendekati 1 dan tidak melebihinya. Nilai faktor kalibrasi tersebut dikalikan dengan faktor-g eksperimen untuk mendapatkan nilai faktor-g sesungguhnya.

4.1.2 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Sampel Kontrol 1

Uji kandungan radikal bebas dan protein pada sampel kontrol 1 (daging sapi tanpa radiasi dan antioksidan) bertujuan untuk mengetahui apakah sampel 1 mengandung radikal bebas atau tidak serta untuk mengetahui kadar protein awalnya. Kurva dari hasil uji kandungan radikal bebas menunjukkan kurva resonansi yang datar disetiap kumparan RF dan setiap range frekuensi. Hal ini menandakan bahwa sampel kontrol 1 tidak mengandung radikal bebas yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Kandungan protein sampel kontrol 1 sebesar 26,43% dan kandungan asam lemak bebas (FFA) sebesar 3,15% yang dilakukan di Laboratorium Nutrisi Universitas Muhammadiyah Malang.

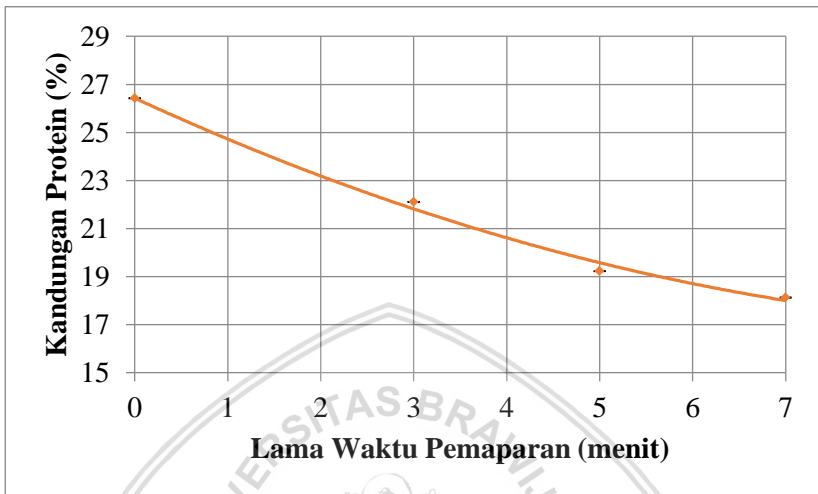


Gambar 4. 2: Kurva resonansi sampel kontrol 1

4.1.3 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Sampel Kontrol 2

Pada Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan waktu pemaparan terhadap kandungan protein yang memiliki persamaan $y = 0,0834x^2 - 1,787x + 26,43$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9946$. Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pemaparan, maka kandungan protein yang terkandung dalam sampel kontrol 2 semakin menurun. Lama waktu pemaparan menyebabkan kandungan protein pada sampel kontrol 2 menjadi rusak, sehingga kandungan proteinnya menurun. Kandungan protein terendah terdapat pada lama waktu pemaparan selama 7 menit dengan nilai

kandungan protein sebesar 18,13%. Kandungan protein yang hilang atau rusak akan menjadi radikal bebas protein.



Gambar 4. 3: Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kandungan protein daging sapi

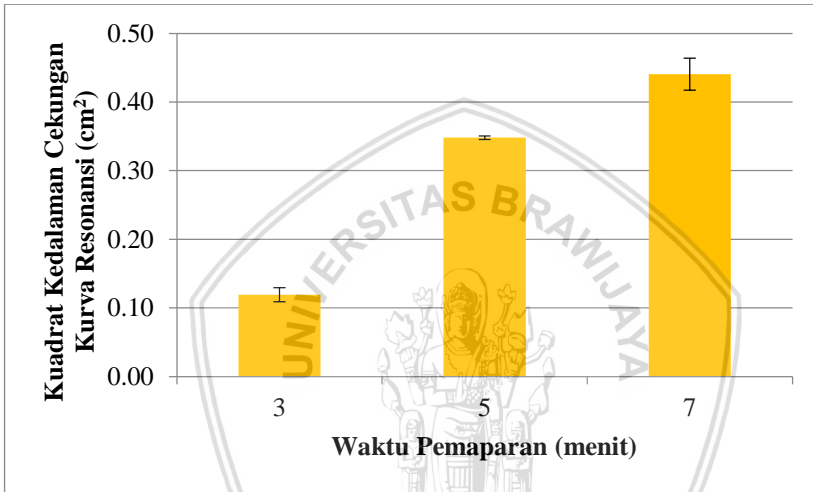
Analisa kandungan radikal bebas pada sampel kontrol 2 menunjukkan kurva yang berbeda dengan sampel kontrol 1. Kurva yang terbentuk menunjukkan adanya cekungan, dimana cekungan tersebut menandakan adanya kandungan radikal bebas pada setiap variasi waktu pemaparan. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh variasi waktu pemaparan dengan kandungan radikal bebas pada sampel kontrol 2. Radikal yang terkandung pada sampel kontrol 2 setiap variasi waktu pemaparan yaitu radikal hidroperoksida dengan nilai faktor-g literatur 1,9896 yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2: Radikal bebas pada daging sapi yang diradiasi tanpa antioksidan

Waktu (menit)	Faktor-g Eksperimen	Jenis Radikal
3	1,9867	Hidroperoksida
5	1,9782	Hidroperoksida
7	1,9846	Hidroperoksida



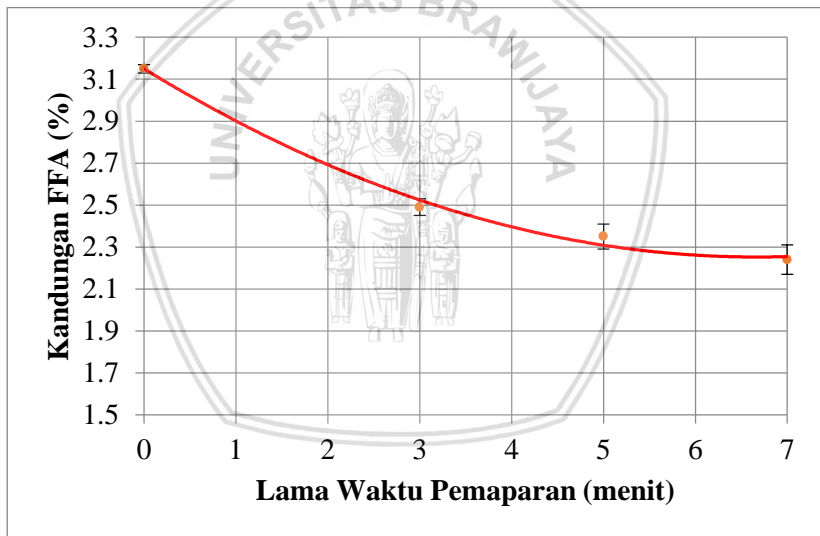
Nilai faktor-g didapatkan dari pengolahan data arus (I) dan frekuensi (f) yang terukur saat pengambilan data. Data arus (I) digunakan untuk menentukan besar medan magnet (B) yang dihasilkan oleh kumparan Helmholtz menggunakan persamaan (3.2). data medan magnet (B) dan frekuensi (f) digunakan untuk menentukan nilai faktor-g menggunakan persamaan (3.3). nilai faktor-g eksperimen disesuaikan dengan nilai faktor-g literatur untuk mendapatkan jenis radikal bebas.



Gambar 4. 4: Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi

Konsentrasi kandungan radikal bebas yang terdapat pada sampel dapat ditentukan dengan menghitung kedalaman kurva lissajous seperti pada Gambar 3.5. Kurva lissajous yang didapatkan berupa kurva cekungan berbentuk V yang didapatkan dari hasil resonansi dua gelombang yaitu gelombang yang dipancarkan kumparan RF dan gelombang yang dipancarkan oleh elektron yang mengalami *deexcitasi*. Besar kedalaman cekungan kurva resonansi yang terbentuk di setiap variasi waktu pemaparan berbeda-beda. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan maka semakin besar kuadrat kedalaman cekungan kurva resonansi yang terbentuk. Kuadrat kedalaman paling besar terdapat pada waktu pemaparan 7 menit yaitu sebesar 0,441 cm².

Selain mempengaruhi kandungan protein dan radikal bebas, oven *microwave* juga dapat mempengaruhi kandungan asam lemak bebas. Pada Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan antara waktu pemaparan dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) yang memiliki persamaan $y = 0,0202x^2 - 0,2691x + 3,15$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9938$. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pemaparan, maka kandungan asam lemak bebas yang terkandung dalam sampel kontrol 2 semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh kandungan enzim pemecah trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas rusak. Selain itu, oven *microwave* dapat mengurangi kadar air pada sampel kontrol 2 sebagai penghidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Kandungan asam lemak bebas paling rendah terdapat pada lama waktu pemaparan 7 menit yaitu sebesar 2,24%.



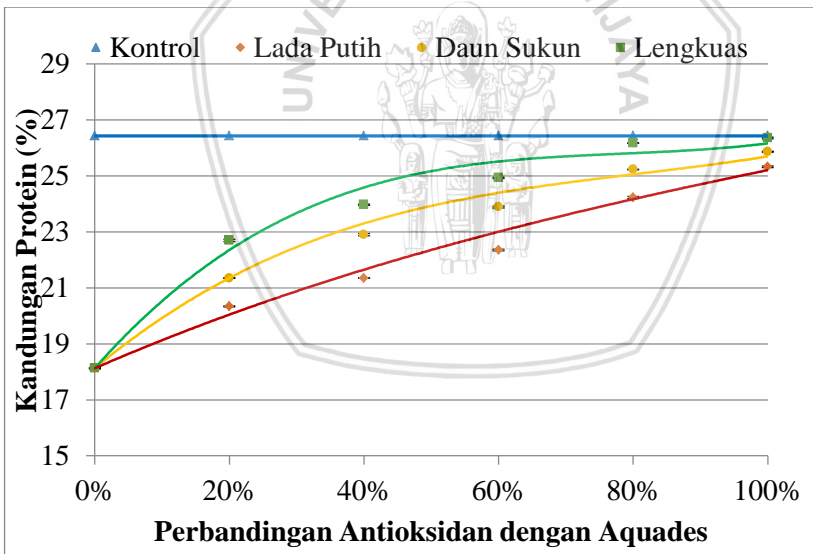
Gambar 4. 5: Grafik pengaruh waktu pemaparan terhadap kandungan asam lemak bebas (FFA)

4.1.4 Analisa Kandungan Radikal Bebas, Protein, dan Asam Lemak Bebas pada Sampel Uji

Pada Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan antara konsentrasi setiap bahan antioksidan dengan kandungan protein. Grafik lada putih memiliki persamaan garis $y = 1,2625x^3 - 4,6416x^2$

+ 10,454x + 18,13 dengan faktor regresi $R^2 = 0,9305$, grafik lengkuas memiliki persamaan $y = 14,143x^3 - 33,309x^2 + 27,196x + 18,13$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,8695$, dan grafik daun sukun memiliki persamaan garis $y = 8,703x^3 - 21,118x^2 + 19,98x + 18,13$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9544$.

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi antioksidan yang diberikan maka semakin tinggi kandungan protein pada sampel uji bahkan mendekati kandungan protein daging mentah segar. Konsentrasi antioksidan yang paling efektif untuk meningkatkan kandungan protein pada sampel uji yaitu antioksidan dengan konsentrasi 20% yaitu sebesar 20,34% untuk lada putih, 21,35% untuk daun sukun, dan 22,43% untuk lengkuas. Sedangkan antioksidan yang paling mampu meningkatkan kandungan protein yaitu lengkuas. Hal ini disebabkan oleh kandungan antioksidan yang terkandung dalam lengkuas lebih banyak dibandingkan daun sukun maupun lada putih.

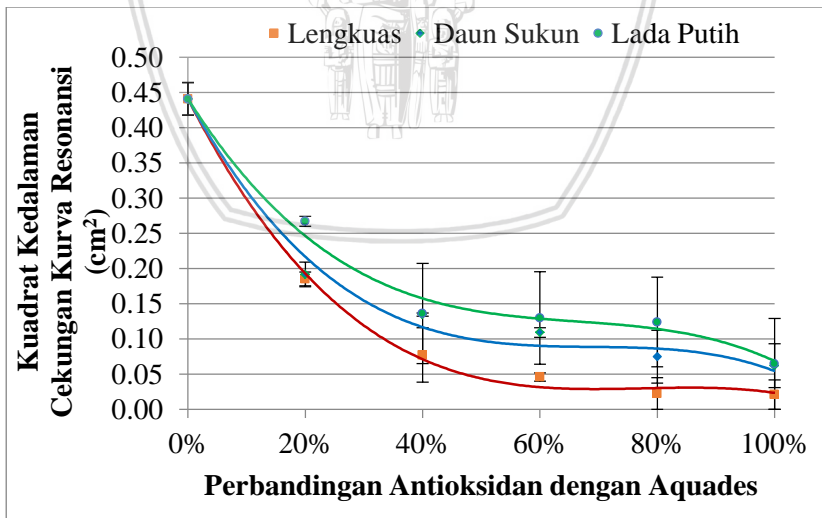


Gambar 4. 6: Grafik pengaruh antioksidan lada putih, daun sukun, dan lengkuas terhadap kandungan protein pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven *microwave*

Pengaruh pemberian antioksidan terhadap kandungan radikal bebas berbanding terbalik dengan kadar protein. Pada Gambar 4.7

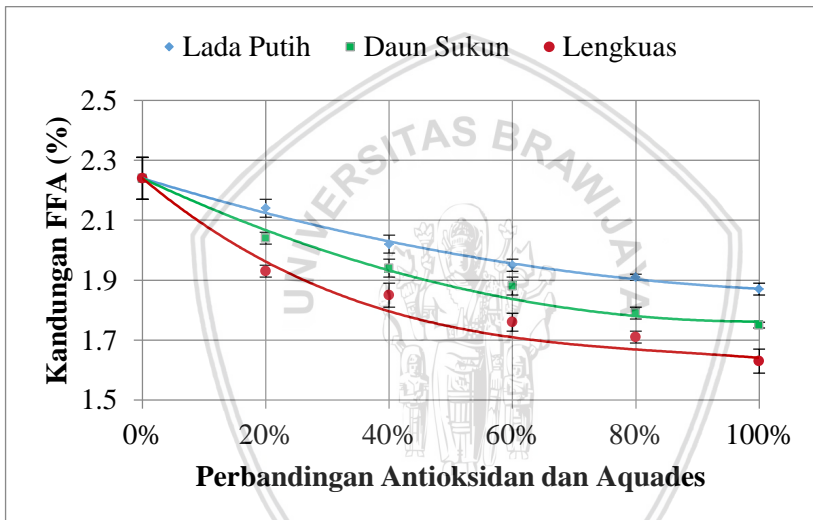
menunjukkan hubungan antara konsentrasi setiap bahan antioksidan dengan kandungan radikal bebas. Grafik lada putih memiliki persamaan $y = -0,9511x^3 + 1,8914x^2 - 1,3124x + 0,4406$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9895$, grafik daun sukun memiliki persamaan $y = -1,0553x^3 + 2,1834x^2 - 1,5143x + 0,4406$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,8734$, dan grafik lengkuas memiliki persamaan $y = -0,914x^3 + 2,1241x^2 - 1,6274x + 0,4406$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9748$. Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa kandungan radikal bebas pada sampel uji menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi antioksidan yang diberikan. Semakin tinggi konsentrasi antioksidan maka semakin rendah kandungan radikal bebasnya.

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa konsentrasi antioksidan yang paling efektif untuk menurunkan kandungan radikal bebas pada sampel uji 1 yaitu antioksidan dengan konsentrasi 20% yaitu sebesar $0,267 \text{ cm}^2$ untuk lada putih, $0,192 \text{ cm}^2$ untuk daun sukun, dan $0,185 \text{ cm}^2$ untuk lengkuas. Sedangkan antioksidan yang paling mampu mengurangi kandungan radikal bebas yaitu lengkuas. Hal ini disebabkan oleh kandungan antioksidan yang terkandung dalam lengkuas lebih banyak dibandingkan daun sukun maupun lada putih.



Gambar 4. 7: Grafik pengaruh antioksidan lada putih, daun sukun, dan lengkuas terhadap kandungan radikal bebas pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven *microwave*

Pengaruh pemberian antioksidan terhadap kandungan asam lemak bebas sama halnya dengan pengaruh pemberian antioksidan terhadap kandungan radikal bebas. Pada Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara konsentrasi setiap bahan antioksidan dengan kandungan asam lemak bebas. Grafik lada putih memiliki persamaan $y = 0,2632x^2 - 0,6317x + 2,24$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9959$, grafik daun sukun memiliki persamaan $y = 0,4838x^2 - 0,9617x + 2,24$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,9856$, dan grafik lengkuas memiliki persamaan $y = -0,6917x^3 + 1,8193x^2 - 1,7268x + 2,24$ dengan faktor regresi $R^2 = 0,872$.



Gambar 4. 8: Grafik pengaruh antioksidan lada putih, daun sukun, dan lengkuas terhadap kandungan asam lemak bebas (FFA) pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven *microwave*

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi antioksidan yang diberikan maka kandungan asam lemak bebas pada sampel uji semakin rendah. Konsentrasi antioksidan yang paling efektif untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas pada sampel uji 1 yaitu antioksidan dengan konsentrasi 20% yaitu sebesar 2,14% untuk lada putih, 2,04% untuk daun sukun, dan 1,93% untuk lengkuas. Sedangkan antioksidan yang paling mampu mengurangi kandungan asam lemak bebas yaitu lengkuas. Hal ini disebabkan

oleh kandungan antioksidan yang terkandung dalam lengkuas lebih banyak dibandingkan daun sukun maupun lada putih.

4.2 Pembahasan

Lama waktu pemaparan menggunakan oven *microwave* pada daging sapi dapat mempengaruhi kandungan protein, radikal bebas, dan asam lemak bebasnya. Lama waktu pemaparan berbanding terbalik dengan kandungan protein dan asam lemak bebas pada daging sapi. Semakin lama waktu pemaparan maka kandungan protein dan asam lemak bebas semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh rusaknya senyawa protein sehingga kelarutannya berkurang. Kandungan asam lemak bebas menurun diakibatkan oleh rusaknya enzim pemecah trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Selain itu, kadar air yang semakin menurun sehingga proses hidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas terhambat. Selain berpengaruh terhadap kandungan protein dan asam lemak bebas, lama waktu pemaparan juga dapat mempengaruhi kandungan radikal bebas pada daging sapi. Semakin lama waktu pemaparan maka kandungan radikal bebas semakin tinggi. Radikal bebas yang terbentuk pada daging sapi akibat terpapar radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oleh oven *microwave* adalah radikal hidroperoksida.

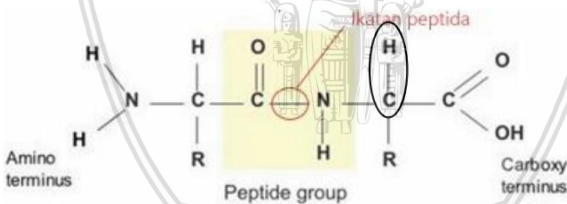
Pengaruh pemberian variasi konsentrasi antioksidan terhadap kandungan protein dengan lama waktu pemaparan 7 menit berbanding lurus yaitu semakin tinggi konsentrasi antioksidan yang diberikan maka kandungan protein semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena adanya perbaikan kandungan protein sehingga protein yang rusak akibat paparan radiasi gelombang mikro yang dipancarkan oven *microwave* menurun. Pengaruh pemberian variasi konsentrasi antioksidan terhadap kandungan asam lemak bebas dengan lama waktu pemaparan 7 menit berbanding terbalik yaitu semakin tinggi konsentrasi antioksidan yang diberikan maka kandungan asam lemak bebas semakin menurun. Hal ini disebabkan karena senyawa antioksidan dapat menghambat proses oksidasi lemak serta kadar air pemicu hidrolisis trigliserida berkurang. Pengaruh pemberian variasi konsentrasi antioksidan terhadap kandungan radikal bebas dengan lama waktu pemaparan 7 menit berbanding terbalik yaitu semakin tinggi konsentrasi antioksidan

yang diberikan maka kandungan radikal bebas semakin menurun. Hal ini disebabkan karena adanya pendonoran elektron oleh senyawa antioksidan ke senyawa radikal sehingga menjadi lebih stabil.

4.2.1 Pengaruh Radiasi Gelombang Mikro terhadap Kandungan Protein, Asam Lemak Bebas, dan Radikal Bebas

Radiasi gelombang mikro yang diserap oleh suatu senyawa akan merubah rotasi dan vibrasi atom dari senyawa tersebut. Adanya perubahan rotasi dan vibrasi dari senyawa diakibatkan oleh penambahan energi yang diberikan oleh radiasi gelombang mikro. Perubahan rotasi dan vibrasi dapat menyebabkan adanya gesekan antar atom sehingga menimbulkan kenaikan suhu atau menjadi panas. Jika energi yang diterima oleh senyawa lebih besar dari energi antar atom penyusun senyawa tersebut, maka atom-atom tersebut cenderung lepas. Oleh karena itu, senyawa tersebut menjadi rusak dan tidak dapat melakukan fungsi biologisnya.

Sama halnya dengan protein, protein tersusun atas ikatan atom-atom yang memiliki energi ikat yang berbeda-beda. Gambar 4.9 yang dilingkari warna hitam (ikatan C-H) merupakan ikatan atom yang memiliki energi ikat terendah yaitu sebesar 0.606×10^{-29} J (Fitriani, Juswono dan Widodo, 2013).

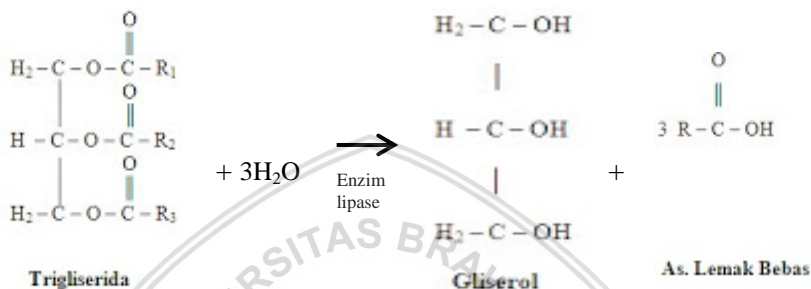


Gambar 4. 9: Struktur umum molekul protein

Radiasi gelombang mikro akan menyebabkan ikatan antara C dan H putus. Atom H yang terlepas dari ikatannya akan menyebabkan perubahan struktur protein. Oleh karena itu protein tidak dapat melakukan aktivitas biologisnya dan kelarutannya akan menurun. Selain itu, senyawa protein yang telah rusak dapat menjadi senyawa radikal protein (Fitriani, Juswono dan Widodo, 2013)

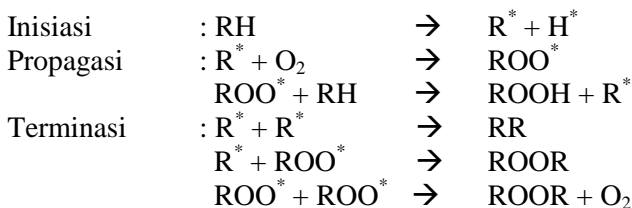
Selain merusak protein, radiasi gelombang mikro juga dapat merusak lemak, enzim lipase, dan air. Radiasi gelombang mikro dapat mencairkan lemak yang terkandung pada daging sapi sehingga lemak akan terpisah dengan daging sapi itu sendiri. Radiasi

gelombang mikro dapat merusak enzim lipase yang merupakan pemercepat proses hidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Selain itu, radiasi gelombang mikro dapat mempercepat proses penguapan sehingga kandungan air pada daging sapi menjadi berkurang. Air dapat digunakan dalam proses hidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Reaksi pembentukan asam lemak bebas dapat dilihat pada Gambar 4.10 (Purnomo, 2013).



Gambar 4.10: Reaksi pembentukan asam lemak bebas

Selain berpengaruh terhadap protein maupun asam lemak bebas, radiasi gelombang mikro juga dapat membentuk radikal bebas yaitu radikal hidroperoksida. Radikal hidroperoksida dihasilkan dari proses oksidasi lemak atau lipid. Lemak atau lipid yang mengandung banyak asam lemak tak jenuh akan lebih mudah teroksidasi dibandingkan lipid dengan asam lemak jenuh. Oksidasi pada lemak atau lipid disebut juga dengan autooksidasi karena reaksi oksidasi dapat terjadi meskipun tidak ada zat pengoksidasinya. Oksidasi lipid terjadi melalui tiga tahap reaksi, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi.



Keterangan:

RH : asam lemak tidak jenuh atau ester dengan atom H

R* : radikal alkil

ROO* : radikal peroksida
ROOH : hidroperoksida

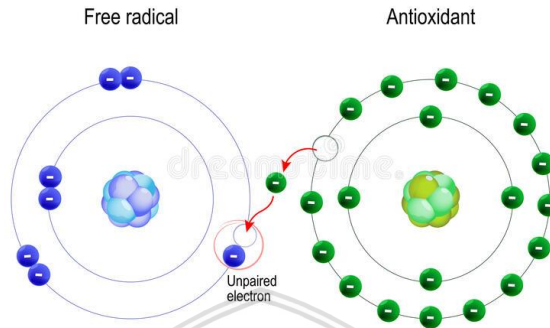
Selain dalam bentuk lemak atau lipid, ROOH juga terdapat dalam bentuk protein peroksida dalam sel yang dapat mengubah struktur asam amino (sebagai reaktor biokimia sel) sehingga reaksi biokimia dalam sel tidak berjalan dan sel menjadi rusak. Sedangkan senyawa R* dan ROO* dapat bereaksi dengan molekul stabil (normal) yang menghasilkan rantai radikal bebas yang berbahaya, misalnya ROOH (Handayani, 2017).

4.2.2 Pengaruh Pemberian Antioksidan terhadap Kandungan Protein, Asam Lemak Bebas, dan Radikal bebas pada Daging Sapi yang Dimasak menggunakan Oven *Microwave*

Hasil uji protein maupun radikal bebas pada sampel uji menunjukkan adanya peningkatan kandungan protein maupun penurunan kandungan radikal bebas dan asam lemak bebas dari setiap konsentrasi antioksidan dengan waktu paparan 7 menit. Hal ini disebabkan oleh senyawa yang dapat memperlambat atau mencegah pembentukan radikal bebas akibat adanya kerusakan senyawa lain yaitu protein dan lemak. Senyawa tersebut dinamakan antioksidan. Antioksidan memiliki fungsi untuk memutus reaksi berantai dari radikal bebas, memperbaiki senyawa yang rusak, dan mencegah oksidasi kemudian mengubahnya menjadi senyawa yang lebih stabil dan tidak reaktif (Kumala, Juswono dan Widodo, 2014).

Senyawa antioksidan pada lengkuas, lada putih, dan daun sukun berfungsi sebagai pendonor elektron ke radikal bebas maupun senyawa yang telah rusak. Elektron yang diterima oleh radikal bebas maupun senyawa yang telah rusak digunakan untuk melengkapi elektron yang tidak berpasangan pada dirinya. Elektron yang didonorkan oleh antioksidan umumnya berasal dari atom H dari ikatan OH. Reaksi antara senyawa antioksidan dengan radikal bebas maupun senyawa yang telah rusak akan menghasilkan senyawa yang bersifat lebih stabil dan radikal antioksidan. Senyawa yang telah rusak akan menjadi senyawa yang stabil sehingga dapat melakukan fungsi biologisnya. Radikal antioksidan cenderung bersifat lebih stabil sehingga tidak dapat berikatan dengan molekul maupun senyawa yang lainnya. Mekanisme pendonoran elektron oleh

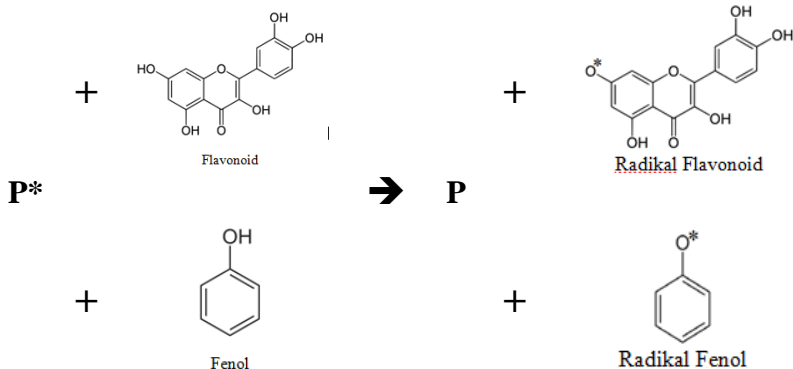
antioksidan dapat dilihat pada Gambar 4.11 (Kumala, Juswono dan Widodo, 2014).



Gambar 4. 11: Mekanisme pendonoran elektron oleh antioksidan

Senyawa antioksidan yang memiliki kekuatan paling baik dalam melawan atau mencegah terbentuknya radikal bebas dan memperbaiki senyawa penting lainnya apabila senyawa antioksidan tersebut memiliki banyak ikatan OH. Ikatan antara atom O dan H merupakan ikatan lemah yaitu 63 kJ/mol sehingga gugus OH ini berpotensi menjadi pendonor elektron dengan cara menyerahkan atom H untuk berikatan dengan senyawa radikal maupun senyawa yang rusak (Kumala, Juswono dan Widodo, 2014).

Fenol dan flavonoid merupakan senyawa antioksidan yang paling banyak pada lengkuas dan daun sukun dibandingkan dengan senyawa yang lainnya, sedangkan untuk lada putih adalah senyawa vitamin C. Kerusakan molekul protein (radikal protein) akibat hilangnya atom H pada molekul protein dapat dicegah dengan penambahan senyawa antioksidan. Mekanisme hilangnya radikal protein akibat penambahan antioksidan dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Senyawa antioksidan flavonoid, fenol, dan vitamin C mendonorkan atom hidrogennya ke senyawa radikal protein (P^*), sehingga terbentuk senyawa protein normal (P) dan senyawa radikal antioksidan (Kumala, Juswono dan Widodo, 2014).

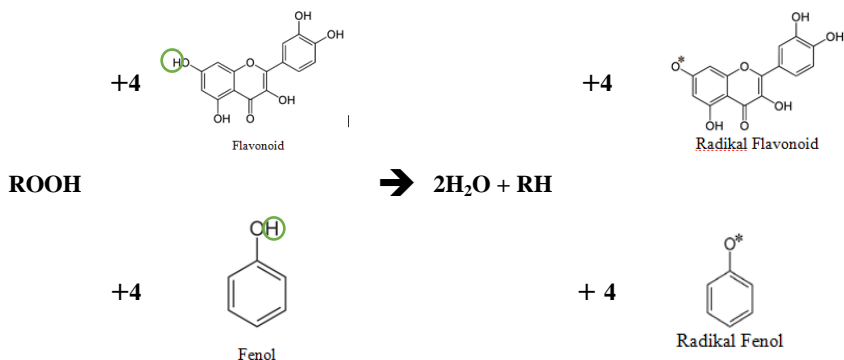


Gambar 4. 12: Interaksi radikal protein (P^*) dengan senyawa flavonoid dan fenol dari antioksidan daun sukun dan lengkuas



Gambar 4. 13: Interaksi radikal protein (P^*) dengan senyawa vitamin C dari lada putih

Sama halnya dengan radikal protein, radikal hidroperoksida (ROOH) juga mendapatkan atom H dari senyawa antioksidan tersebut sehingga terbentuk senyawa yang bersifat lebih stabil yaitu H_2O dan RH. Reaksi penangkal radikal hidroperoksida oleh senyawa antioksidan flavonoid, fenol dan vitamin C dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 (Handayani, 2017).

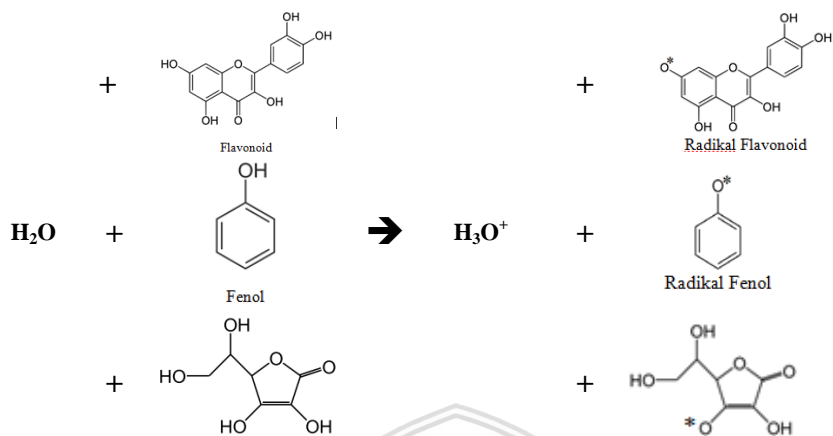


Gambar 4. 14: Interaksi radikal peroksida (ROOH) dengan senyawa flavonoid dan fenol dari antioksidan daun sukun dan lengkuas

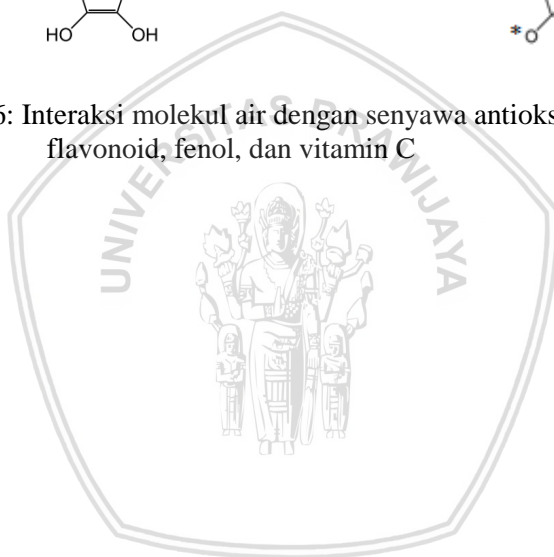


Gambar 4. 15: Interaksi radikal hidroperoksida (ROOH) dengan senyawa vitamin C dari lada putih

Berdasarkan variasi konsentrasi antioksidan dimana setiap konsentrasi antioksidan memiliki kadar air yang berbeda-beda. Semakin tinggi konsentrasi antioksidan maka kadar air di dalamnya semakin menurun. Seperti yang diketahui bahwa, pembentukan asam lemak bebas dapat dipengaruhi oleh kadar air seperti yang telah dijabarkan pada Gambar 4.10. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi antioksidan, maka kandungan asam lemak bebas semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh proses hidrolisis yang terhambat akibat kurangnya kadar air dan rusaknya enzim lipase. Selain itu molekul air akan bereaksi dengan senyawa antioksidan. Molekul air mendapatkan atom H sehingga menjadi ion hidronium yang lebih stabil dan tidak reaktif sehingga kandungan air menjadi berkurang dan menghambat pembentukan asam lemak bebas (Marzuki, 2010). Reaksi pendonoran atom H ke molekul air dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.16: Interaksi molekul air dengan senyawa antioksidan flavonoid, fenol, dan vitamin C



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa antioksidan yang diberikan pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven *microwave* dapat mempengaruhi penurunan kandungan radikal bebas hidroperoksida, peningkatan kandungan protein, dan penurunan asam lemak bebas. Antioksidan yang paling mampu mengurangi kandungan radikal bebas hidroperoksida dan asam lemak serta meningkatkan kandungan protein yaitu lengkuas, kedua daun sukun, dan terakhir lada putih. Jenis radikal bebas hidroperoksida didapatkan dari nilai faktor-g. Nilai faktor-g eksperimen yang didapatkan yaitu berkisar antara 1,9707-1,9883. Lama waktu pemaparan dapat mempengaruhi kandungan radikal bebas, protein, dan asam lemak bebas. Semakin lama waktu pemaparan maka semakin tinggi kandungan radikal bebas hidroperoksida, kandungan protein dan asam lemak bebas semakin berkurang. Konsentrasi antioksidan yang paling efektif untuk mengurangi kandungan radikal bebas dan asam lemak bebas serta meningkatkan kandungan protein yaitu dengan konsentrasi 20%. Kandungan radikal bebas, asam lemak bebas, dan protein yang dihasilkan pada konsentrasi antioksidan sebesar 20% yaitu berturut-turut 0,281 cm², 1,93%, 20,34% untuk lada putih, 0,192 cm², 2,04%, 21,35% untuk daun sukun, 0,185 cm², 1,93%, 22,69% untuk lengkuas.

1.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan uji kandungan lemak tak jenuh pada daging sapi yang dimasak menggunakan oven *microwave*. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui hubungan antara radikal hidroperoksida dengan asam lemak tak jenuh. Sedangkan untuk uji asam lemak bebas disertai dengan uji kadar air.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarani, N. K. N. 2012. *Pendeteksian Radikal Bebas pada Asap Rokok dengan Menggunakan Electron Spin Resonance (ESR) Leybold Heracus*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Anies. 2009. *Pengaruh Radiasi Elektromagnetik Ponsel dan Berbagai Peralatan Elektronik*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Astuti, N. Y. 2009. *Uji Aktivitas Penangkap Radikal DPPH oleh Analog Kurkumin Monoketon dan N-Heteroalifatik Monoketon*. Surakarta: Fakultas Farmasi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- BKKPPP Yogyakarta. 2014. *Data Kandungan Gizi Bahan Pangan Dan Hasil Olahannya*. Yogyakarta: BKKPPP Yogyakarta.
- Cairns, D. 2008. *Essentials of Pharmaceutical Chemistry Third edition*. London: Pharmaceutical Press.
- Chemat, F. dan Cravotto, G. 2013. *Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds*. New York: Springer.
- Dasgupta, A. dan Klein, K. 2014. *Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements*. San Diago: Elsevier.
- Demedia, T. D. 2008. *Masakan Daging Sapi Nusantara*. Tangerang: PT Agromedia Pustaka.
- Ducheyne, P. et al. 2015. *Comprehensive Biomaterials: Metallic, Ceramic and Polymeric Biomaterials*. Boston: Elsevier.
- Farihatin, E. 2014. *Analisis Fisis Komposit Biofilter Berbahan Serbuk Daun Zaitun (Olea europaea) dengan Variasi Pengeringan untuk Menangkap Radikal Bebas Asap Rokok*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fauziah, F. F., Juswono, U. P. dan 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.
- Fayeldi, T. dan Nurhakim, S. 2012. *Teknologi Modern: Pemikiran Fenomenal Menuju Medernisasi ke Masa Depan*. Jakarta: Bestari Buana Murni.
- Fitriani, U., Juswono, U. dan Widodo, C. 2013. 'Pengaruh Radiasi

- Gelombang Microwave Telepon Seluler Terhadap Kandungan Protein Daging Sapi', *J Stud Brawijaya*, 1496, pp. 2–7.
- Florensia, S., Dewi, P. dan Utami, N. R. 2012. 'Pengaruh Ekstrak Lengkuas pada Perendaman Ikan Bandeng terhadap Jumlah Bakteri', *Journal of Life Science*, 1(2), pp. 114–117.
- Gaetreau, R. dan Savin, W. 2006. *Fisika Modern Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Hakim, L. 2015. *Rempah dan Herba Kebung-Pekarangan Rumah Masyarakat: Keragaman, Sumber Fitofarmaka, dan Wisata Kesehatan-Kebugaran*. Yogyakarta: Diandra Creative.
- Handayani, S. 2017. *Pengaruh Pemberian Minyak Zaitun Terhadap Kandungan Radikal Bebas pada Daging Sapi yang dimasak Menggunakan Oven Gelombang Mikro*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Harmanto, N. 2012. *Daun Sukun Sidaun Ajaib Penakluk Aneka Penyakit*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.
- Hayt, W. J. dan Buck, J. A. 2006. *Elektromagnetika*. Jakarta: Erlangga.
- Hernawan, U. E. dan Setyawan, A. D. 2003. *Senyawa Organosulfur Bawang Putih (Allium sativum L.) dan Aktivitas Biologinya*. Surakarta: Jurusan Biologi UNS.
- Horikoshi, S. dan Serpone, N. 2013. *Microwaves in Nanoparticle Synthesis*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Indriani. 2013. *Seri Quick Cooking: Steak Cooking Express*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Iswantini, D., Darusman, L. K. dan Fitriyani, A. 2010. 'Uji in Vitro Ekstrak Air Dan Etanol Dari Buah', *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 12(3), pp. 15–20.
- Kumala, anggara P., Juswono, U. P. dan Widodo, C. S. 2014. *Pengaruh Ekstrak Kulit Manggis terhadap Kandungan Protein Daging Sapi yang Diradiasi Gamma*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Limiansih, K. 2013. *Penggunaan Electron Spin Resonance (Esr)*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Fisika Unversrsitas Sanata Dharma.
- Mardiana, L. 2012. *Daun Ajaib Tumpas Penyakit*. Jakarta: Swadaya.
- Marzuki, I. 2010. *Kimia dalam Keperawatan*. Kalampa: Pustaka As Salam.
- Mayasari, R. A. 2015. *Studi Pengaruh Sari Kunyit, Bawang Putih,*

- Jahe, Lada Putih dan Cengkeh terhadap Kandungan Protein Daging Sapi yang Diradiasi Gelombang Mikro*. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
- Mu'nisa, A. *et al.* 2012. 'Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Cengkeh', *Veteriner*, 13(3), pp. 272–277.
- Mukhlis, A. M. A. 2014. *Aplikasi Energi Gelombang Mikro untuk Pengendalian Hama Gudang Araecerus fasciculatus De Geer pada Biji Kakao*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Negro, M. *et al.* 2014. 'Protein supplementation with low fat meat after resistance training: Effects on body composition and strength', *Nutrients*, 6(8), pp. 3040–3049.
- Novitasari, V. 2014. *Uji Ekstrak Minyak Atsiri Lada Putih (Piper nigrum Linn) sebagai Antibakteri Bacillus Cereus*. Bengkulu: Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu.
- Nurjannah, D. A., Retnowati, R. dan Juswono, U. P. 2013. 'Aktivitas Antioksidan dari Minyak Bunga Cengkeh (Syzygium aromaticum) Kering berdasarkan Aktivitas Antiradikal yang ditentkan menggunakan Electron Spin Resonance', *Kimia Student Journal*, 1(2), pp. 283–288.
- Praja, D. I. 2015. *Zat Aditif Makanan*. Yogyakarta: Garudhawaca.
- Purnomo, L. O. P. 2013. *Pengaruh Pemanasan Gelombang Mikro terhadap Masa Simpan dan Kandungan Asam Lemak Bekatul*. Salatiga: Jurusan Kimia Universitas Kristen Satya Wacana.
- Puspaningtyas, D. E. 2013. *The Miracle of Fruits*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.
- Rahmadani, R. 2012. *Mempelajari Formulasi Bumbu Penyedap Berbahan Dasar Ikan Teri (Stolephorus spp.) dan Daging Buah Picung (Pangium edule) dengan Penambahan Rempah-rempah*. Makassar: Jurusan Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin.
- Reiger, P. H. 2007. *Electron Spin Resonance: Analysis and Interpretation*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Risfaheri. 2012. 'Diversifikasi produk lada (Produk, Diversifikasi Piper, Lada Untuk, Nigrum)', *Buletin Teknologi Pascapananen Pertanian*, 8(1), pp. 17–26.
- Rizqi, M. M. 2014. *Formulasi Teh Daun Sukun (Artocarpus altilis) dengan Penambahan Kayu Manis dan Melati sebagai Minuman Fungsional*. Bogor: Departemen Gizi Masyarakat

- Institut Pertanian Bogor.
- Rofiah, D. 2015. *Aktivitas Antioksidan Dan Sifat Organoleptik Teh Daun Kelor Dengan Variasi Lama Pengeringan dan Penambahan Jahe Serta Lengkuas sebagai Perasa Alami*. Surakarta: Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rosihan, R. 2015. *Efikasi Ekstrak Lengkuas pada Mikroba Indigenous Buah Salak (Salaca edulis Reinw)*. Jakarta: Program Stud Kimia Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Rusmarilin, H. 2003. *Aktivitas Anti-Kanker Ekstrak Rimpang Lengkuas Lokal (Alpinia galanga (L) Sw) pada Alur Sel Kanker Manusia serta Mencit yang Ditransplantasi dengan Sel Tumor Primer*. Bogor: Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sarpian, T. 2003. *Pedoman Berkebun Lada dan Analisis Usaha Tani*. Yogyakarta: Kanisius.
- Serway, R. A. dan Jewett, J. W. 2014. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Technology Update*. California: Cengage Learning.
- Sumardjo, D. 2006. *Pengantar Kimia: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Suryanto, E. dan Wehantouw, F. 2008. 'Aktivitas Penangkap Radikal Bebas Dari Ekstrak Fenolik', *Jurnal Bahan Alam Indonesia*, 6(5), pp. 185–188.
- Syahputra, R. 2015. *Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*. Yogyakarta: Penerbit LP3M UMY.
- Triwiyatno, E. A. 2003. *Bibit Sukun Cilacap*. Yogyakarta: Kanisius.
- Umar, E. 2008. *Buku Pintar Fisika*. Jakarta: Media Pusindo.
- Wibowo, N. T. 2013. *Uji Efek Ekstrak Etanol 70% Lengkuas (Alpinia galanga) terhadap Kadar Alanin Aminotransferase (ALT) pada Tikus Putih yang Diinduksi Asetaminofen*. Surakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Winarsi, H. 2007. *Antioksidan Alami dan Radikal Bebas*. Yogyakarta: Kanisius.
- Zahra, F. 2012. *Pengaruh Rempah-Rempah dan Sirsak terhadap Kandungan Radika Bebas pada Daging Sapi yang Dimasak*

Menggunakan Oven Gelombang Mikro. Malang: Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)