



Evaluasi Radikal Bebas dalam Kopi Robusta dan Arabika Toraja dengan metoda Electron Spin Resonance

Jaja Jamaludin^{1*}, St. Muriati¹

¹Universitas Bosowa, Indonesia

*Korespondensi: jaja.jamaludin@universitasbosowa.ac.id

Info Artikel

Diterima 05 Juli
2022

Disetujui 30
Agustus 2022

Dipublikasikan 31
Agustus 2022

Keywords:
Electron Spin
Resonance; Kopi
Robusta Arabika
Toraja; Radikal
Bebas

© 2022 The
Author(s): This is
an open-access
article distributed
under the terms of
the Creative
Commons
Attribution
ShareAlike (CC BY-
SA 4.0)



Abstrak

Penentuan mutu kopi didasarkan pada rasa, aroma dan fisik biji kopi, Perkembangan baru penentuan mutu kopi didasarkan pada kadar antioksidan, Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi jumlah radikal bebas dalam kopi bubuk jenis Robusta dan Arabica asal daerah Toraja. Jumlah Radikal Bebas dalam kopi dapat menjadi dasar penentuan mutu kopi. Untuk mengevaluasi jumlah radikal bebas pada kopi, metoda penelitian ini menggunakan spektroskopi Electron Spin Resonance. Metoda ini, menunjukkan intensitas sinyal menjadi dasar untuk menentukan jumlah radikal bebas dari kedua jenis kopi asal Toraja tersebut. Mengetahui jumlah Radikal Bebas penting untuk kemudian dianalisa kaitannya dengan kadar antioksidan dalam kopi akan menjadi langkah untuk melakukan Evaluasi lanjut kualitas kopi berdasarkan kadar radikal bebas yang dikandungnya. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan jumlah radikal bebas dalam setiap sample kopi tersebut. Jumlah radikal bebas dapat menjadi paramater alternatif dalam penentuan kualitas kopi dan dapat dikembangkan secara berkelanjutan, konsentrasi radikal bebas dinyatakan oleh intensitas sinyal ESR. Berturut-turut intensitas tinggi ke rendah dimiliki sample Robusta 1 (444,54), Pearbury (2040,02), Pango-pango (2600,00), Sapan Vilage (2239,39), Padamaran (2028,00), green bean (750,00) dan Robusta 2 (657,57). Ini artinya, antioksidan tinggi dimiliki oleh sample dengan intensitas atau konsentrasi radikal bebas yang rendah. Data ini menunjukkan bahwa efek suhu pemanggangan berpengaruh terhadap kadar antioksidan sample kopi.

Abstract

Determination of coffee quality is based on the taste, aroma and physical characteristics of coffee beans. A new development of coffee quality determination is based on antioxidant levels. This study aims to evaluate the amount of free radicals in Robusta and Arabica ground coffee from the Toraja region. The amount of free radicals in coffee can be the basis for determining the quality of coffee. To evaluate the amount of free radicals in coffee to analyze its antioxidant levels. This research method uses Electron Spin Resonance spectroscopy. This method, showing the intensity of the signal is the basis for determining the amount of free radicals from the two types of coffee from Toraja. Knowing the amount of Free Radicals is important for later analysis in relation to antioxidant levels in coffee will be a step to carry out further evaluation of coffee quality based on the levels of free radicals it contains. The results showed that there were differences in the number of free radicals in each coffee sample. The amount of free radicals can be an alternative parameter in

determining coffee quality and can be developed sustainably, the concentration of free radicals is expressed by the intensity of the ESR signal. The samples were Robusta 1 (444.54) , Pearbury (2040.02), Pango-pango (2600.00), Sapan Vilage (2239.39), Padamaran (2028.00), and green beans, respectively. (750.00) and Robusta 2 (657.57). This means, high antioxidants are owned by samples with low intensity or concentration of free radicals. These data indicate that the effect of roasting temperature has an effect on the antioxidant levels of coffee samples.

1. Pendahuluan

Riset ini akan mengevaluasi eksistensi serta jumlah radikal bebas (*free radical*) dalam kopi bubuk tipe Robusta serta Arabica asal wilayah Toraja. Metoda riset ini memakai spektroskopi Electron Spin Resonance (ESR). Metoda ini, telah cukup banyak digunakan untuk tujuan mendeteksi jumlah radikal.

Mengetahui eksistensi dan jumlah Radikal Bebas penting untuk kemudian dianalisa kaitannya dengan kadar antioksidan dalam kopi akan menjadi langkah awal untuk melakukan Evaluasi lanjut kualitas kopi berdasarkan kadar radikal bebas yang dikandungnya. Penelitian Radikal bebas dalam material kopi belum banyak dilakukan khususnya untuk kopi asal daerah Toraja Sulawesi Selatan. Variable Eksistensi dan jumlah radikal bebas dalam kopi diharapkan dapat menjadi paramater alternatif dalam penentuan kualitas kopi dan dapat dikembangkan secara berkelanjutan dengan menambah parameter mutu lain seperti faktor **Lande-g** (*g-factor*) yang juga dapat ditentukan melalui metoda ESR ini. Dalam tahap awal penelitian ini hanya dibatasi pada Evaluasi awal eksistensi dan jumlah radikal bebas dalam produk kopi Toraja.

Evaluasi terhadap parameter mutu kopi sejauh ini, berdasarkan rasa, aroma dan fisik biji kopi dari setiap jenis atau varietas kopi dan asal daerah kopi tersebut di tanam. Parameter mutu kopi tersebut tentu bersifat makroskopis dari biji kopi. Beberapa kajian mengkaitkan kopi dengan kemampuan atau kadar antioksidan sebagaimana juga pada produk teh. Kajian tentang antioksidan pada produk kopi menarik karena belum banyak yang melakukan kajian dan penelitian terhadap kadar antioksidan atau radikal bebas pada kopi. Keberadaan radikal lbebas, bisa dideteksi serta diukur dengan Electron Spin Resonance (Setyani et al., 2018). Resonance (ESR) merupakan proses penyerapan energi gelombang elektromagnetik oleh elektron yang tidak berpasangan pada ion ataupun molekul paramagnetik. Penyerapan energi gelombang elektromagnetik digunakan dalam proses transisi spin electron (Velasco et al., 2021).

Beberapa penelitian terdahulu yang mengkaji aktiviatas antioksidan dalam kopi diantaranya telah melakukan riset tentang Uji aktivitas Antioksidan dan Fitokimia pada kopi Luwak Arabika, hasilnya menunjukkan aktivitas antioksidan kopi luwak Arabika lebih rendah dari pada kopi arabika biasa (Isnindar et al., 2017). Kopi dan teh adalah minuman yang keduanya sangat kaya akan molekul antioksidan, dan juga baik terkait dengan efek kesehatan bermanfaat. Jadi meskipun kualitas karakteristik- minuman ini secara konvensional atas dasar sifat sensori mereka, antioksidan kopi dan teh semakin dihargai kualitas berdasarkan kontribusi mereka untuk diet sehat. Kedua minuman diseduh air panas dari produk tanaman kopi yang diturunkan murni, dan dengan demikian komposisi mereka berpotensi dapat mengubah cukup cepat sebagai akibat dari oksidasi kontak

dengan udara. Proses oksidatif sering melanjutkan melalui intermediet radikal bebas, dan kadang-kadang juga mengakibatkan pembentukan produk akhir radikal yang stabil; sehingga spektroskopi ESR adalah teknik untuk menyelidiki beberapa dari berbagai reaksi radikal bebas yang terjadi dalam minuman ini.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi jumlah atau konsentrasi radikal bebas dalam kopi khusus kopi yang ditanam, diproduksi serta diolah dari daerah Toraja Sulawesi Selatan sebagai produk unggulan Daerah dan komoditas ekspor, yaitu kopi arabika dan kopi robusta asal Toraja. Penelitian yang memfokuskan pada parameter mutu dengan metoda ESR untuk jenis kopi Arabika dan Robusta dari daerah Toraja belum pernah ada yang melakukannya, setidaknya hingga proposal ini disusun. Mengkaji radikal bebas pada kopi Toraja akan menjadi penting sejalan dengan perspektive kesehatan terhadap jenis minuman kopi yang sangat populer bahkan telah menjadi konsumsi harian di masyarakat Indonesia. Informasi tentang kandungan radikal bebas atau aktivitas antioksidan pada kopi akan memberi perpektif baru dalam Evaluasi parameter mutu kopi selama ini (Halliwell, 2020).

Melalui metoda ESR akan terungkap secara pasti konsentrasi radikal bebas atau aktivitas antioksidan untuk setiap jenis kopi Arabika dan Robusta asal daerah Toraja. Itu artinya sebagai studi awal Evaluasi alternatif paramater mutu kopi berbasis metoda ESR dapat menjadi dasar bagi pengembangan riset mutu kopi dalam perspektif variable fisika elementer yang sejauh ini untuk kopi Toraja belum pernah dilakukan. Selain fokus utama menemukan kadar radikal bebas dan aktivitas antioksidan dalam kopi Toraja, penelitian ini juga akan menemukan nilai faktor Lande (g-factor) dari kopi robusta dan arabika Toraja untuk setiap perlakuan variasi temperatur pemanggangan kopi yang berbeda (Drouza et al., 2019).

Sejauh ini kualitas kopi pada umumnya berdasarkan rasa, aroma kopi dan cara pengolahan biji kopi. Hal ini dapat dilihat dari beberapa studi yang umumnya mengkaji struktur fisik, aroma dan cara pengolahan. Wahyu (2017) meneliti bagaimana kualitas kopi dikaji dengan metoda Hyrarchi process. Industri kopi di Indonesia sangat bermacam- macam, diawali dari unit usaha kecil yang berskala industri rumahan hingga industri kopi berskala multinasional. Produk yang dihasilkan tidak cuma dibuat buat kebutuhan dalam negara melainkan pula buat mengisi pasar di luar negara. Perihal ini menampilkan kalau mengkonsumsi kopi dalam negara ialah kesempatan pasar yang sangat menarik untuk golongan pengusaha serta membagikan kesempatan terdapatnya kondusi yang kondusif dalam berinvestasi dibidang industri kopi. Pertumbuhan mengkonsumsi kopi ini tetapi tidak di imbangi dengan kelancaran dalam penciptaan biji kopi itu sendiri dan pemilihan mutu yang baik buat pengolahannya (Isnindar et al., 2017).

Di Indonesia sendiri mempraktikkan standar nasional mutu ataupun kualitas sesuatu biji kopi ialah dengan memandang aspek dari nilai cacat pada biji kopi. Persyaratan standar kualitas biji kopi yang berlaku dikala ini merupakan Standar Nasional Indonesia no 01- 2907- 2008 dimana dengan memakai nilai cacat selaku acuan buat memastikan mutu ataupun kualitas sesuatu biji kopi. Penentuan mutu biji kopi dengan memakai nilai cacat selaku acuan masih dicoba memakai perhitungan manual, dengan mengambil sample serta dihitung satu- persatu berapa banyak kecacatan yang terdapat pada masing- masing ilustrasi biji kopi cocok dengan syarat Standar Nasional Indonesia no 01- 2907- 2008 pengolahannya (Isnindar et al., 2017).

Dewan ICO (International Coffe Organization) awal tahun 2002 mengadakan persidangan serta menciptakan Resolusi Nomor. 407 yang berisi Program Revisi Kualitas Kopi yang mulai diberlakukan per 1 Oktober 2002. Standar minimum Resolusi Nomor. 407 tersebut merupakan: a. Kopi Arabika: nilai cacat optimal 86 per 300gr ilustrasi bagi standar kualitas Brazil/ New York b. Kopi Robusta: Nilai cacat optimal 150 per 300gr ilustrasi bagi standar kualitas Indonesia/ Vietnam c. Kandungan Air: maks 12, 5% bersumber pada ISO 6673 (Isnindar et al., 2017)

Bernard A. Goodman, menyebutkan kopi dan teh adalah dua yang paling banyak di dunia. Keduanya memiliki riwayat ke sifat obat, meskipun dianggap sebagai obat tradisional. Pada umumnya kualitas teh dan kopi yang dinilai berdasarkan sifat sensorik mereka dengan panel ahli. Oleh karena ini relevan dengan pengalaman konsumen. Namun, kita telah belajar selama beberapa tahun terakhir bahwa kedua minuman mengandung molekul yang dianggap bermanfaat bagi kesehatan jangka panjang dan kesejahteraan, kualitas yang semakin diperhatikan dan dihargai oleh konsumen. Oleh karena itu definisi dan pemahaman suatu berkualitas di kopi dan teh secara perlahan mempertahankan berisi manfaat kesehatan jangka panjang selain langsung pakta sensorik. Molekul-molekul menguntungkan utama termasuk ke dalam kelas senyawa yang dikenal sebagai antioksidan, yang fungsi utama dalam biologi adalah untuk melindungi sel dari kerusakan oksidatif (Yahayu et al., n.d.).

Isnindar pada 2017 melaksanakan riset Kegiatan Antioksidan pada Kopi Hijau Merapi. Riset ini bertujuan buat mengenali kegiatan antioksidan(IC50) ekstrak kloroform, larut metanol 80% serta endapan metanol 80% dari buah kopi hijau merapi memakai tata cara DPPH (2, 2- difenil- 1- pikrilhidrazil. Hasil riset membuktikan ekstrak kloroform mempunyai kegiatan antioksidan(IC50) sebesar 2. 21 miligram/ mL, larut metanol 80% sebesar 1. 88 miligram/ mL, endapan metanol 80% sebesar 3. 66 miligram/ mL, serta vit C selaku kontrol positif sebesar 2. 38 μ g/ mL (Isnindar et al., 2017)

Gordon Troup sudah mempublikasi hasil penelitiannya tentang kegiatan radikal bebas dalam pengolahan kopi. Tujuan yang sangat berarti dari riset Gordon Troup yaitu untuk lebih menguasai pertumbuhan radikal bebas normal sepanjang proses pemanggangan serta pengaruh yang bisa jadi diberikan oleh radikal yang dibesarkan pada properti antioksidan kopi yang terdokumentasi dengan baik. Riset ini diharapkan jadi fakta mungkin isi kopi selaku sumber kegiatan antioksidan (Bakker et al., 2020).

Antioksidan dan Radikal Bebas

Kapasitas antioksidan ekstrak kopi tergantung pada varietas kopi dan metode ekstraksinya. Beberapa metode analitik telah dikembangkan untuk penentuannya. Aktivitas penangkapan radikal 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH), daya antioksidan pereduksi besi (FRAP), dan kapasitas antioksidan setara Trolox (TEAC) umumnya digunakan teknik untuk mengevaluasi sifat antioksidan in vitro. Namun, telah dilaporkan bahwa hasil analisis ini berbeda dan tidak berkorelasi dalam beberapa bahan (Jung et al., 2021).

Menurut Purnomo Suryohudoyo, radikal bebas mempunyai 2 watak, ialah 1) reaktivitas besar, sebab kecenderungan menarik electron dan 2) bisa mengganti sesuatu molekul jadi sesuatu radikal. Watak radikal bebas yang mirip dengan oksidan terletak pada kecenderungannya buat menarik elektron. Jadi sama halnya

dengan oksidan, radikal bebas merupakan penerima elektron. Seperti itu sebabnya dalam kepustakaan medis, radikal bebas digolongkan dalam oksidan. Tetapi butuh diingat kalau radikal bebas merupakan oksidan namun tidak tiap oksidan merupakan radikal bebas. Radikal bebas lebih beresiko dibandingkan dengan oksidan yang bukan radikal. Perihal ini diakibatkan oleh kedua watak radikal bebas diatas, ialah reaktifitas yang besar serta kecenderungannya membentuk radikal baru, yang pada gilirannya apabila menjumpai molekul lain hendak membentuk radikal baru lagi, sehingga terjadilah rantai respon (*chain reaction*) Respon rantai tersebut baru menyudahi apabila radikal bebas tersebut bisa diredam (*quenched*) (Wojtowicz et al., 2017).

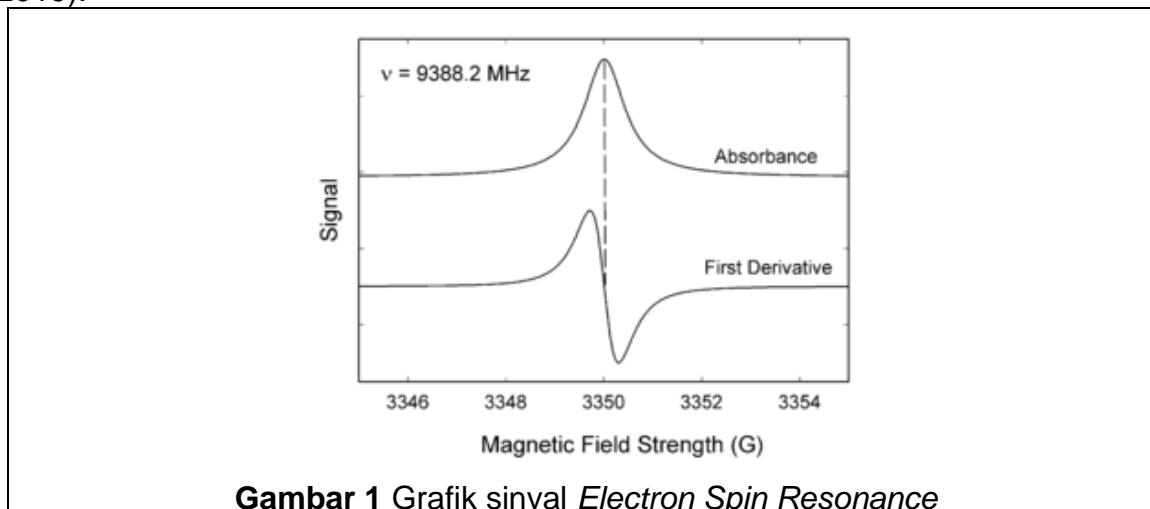
Semua penelitian di atas pada umumnya berfokus pada aktivitas antioksidan dari berbagai jenis kopi dan metode yang berbeda. Untuk kopi Robusta dan Arabika asal Toraja, dalam penelitian ini akan dievaluasi jumlah radikal bebasnya menggunakan metoda spektroskopi elaktron Spin Resonance dengan menggunakan sampel kajian varietas kopi yang di tanam dan diolah dari Indonesia. Hal ini memberikan konfirmasi bagi peneliti untuk melakukan penelitian kajian terhadap radikal bebas dan aktivitas antioksidan dengan menggunakan metoda yang berbeda dan sekaligus menjadi perspektif baru dalam Evaluasi Mutu Kopi Asal Daerah Toraja Sulawesi Selatan Berbasis Metoda ESR.

2. Metode Penelitian

Electron Spin Resonance (ESR) spektroskopi adalah metode untuk mempelajari materi dengan elektron yang tidak berpasangan (*free radical*) atau radikal bebas. Konsep dasar ESR adalah analog dengan resonansi magnetik nuklir (NMR), tetapi spin elektron yang bersemangat bukan berputar pada inti atom (Eaton & Eaton, 2021). Spektroskopi ESR sangat berguna untuk mempelajari logam kompleks atau radikal organik. Radikal bebas yang stabil dianalisis dengan pengukuran ESR, dilakukan pada sampel kopi asal daerah Toraja menggunakan spektrometer Bruker (Bruker EMXplus, Jerman), dilengkapi dengan jembatan X-band (9,2 GHz), resonator sensitivitas tinggi (Bruker ER 4119HS, Jerman), daya gelombang mikro 20 mW, amplitudo modulasi 1 G, frekuensi modulasi 100 kHz, lebar sapuan 14 G, waktu sapuan 60 detik, medan pusat 336mT. Semua spektrum dikumpulkan di atmosfer udara, pada 30,8 °C, menggunakan pengontrol suhu dan gas (NoxygenNOX-E.4-TGC, Jerman), di lapangan berkisar antara 312 hingga 360 mT. Konsentrasi radikal bebas yang stabil dinilai menggunakan gelombang mikro total data penyerapan dievaluasi oleh integrasi ganda turunan pertama dari spektrum ESR (Alamri et al., 2022; Alves et al., 2021).

Spektrum ESR dapat dihasilkan dengan memvariasikan insiden frekuensi foton pada sampel dengan pemberian medan magnet konstan atau melakukan sebaliknya (Senesi & Senesi, 2022). Dalam prakteknya, biasanya frekuensi yang disimpan tetap. Kumpulan pusat paramagnetik, seperti radikal bebas, terkena gelombang mikro pada frekuensi tetap (S. Jiang et al., 2020). Dengan meningkatkan medan magnet eksternal, keadaan energi dilebarkan sampai cocok dengan energi gelombang mikro. Pada titik ini elektron yang tidak berpasangan dapat bergerak di antara dua spin state. Karena biasanya ada lebih banyak elektron dalam keadaan lebih rendah, karena distribusi Maxwell-Boltzmann ada penyerapan energi bersih, dan penyerapan inilah yang dimonitor dan diubah menjadi spektrum. Spektrum atas di bawah ini adalah penyerapan tersimulasi

untuk sistem elektron bebas dalam medan magnet yang bervariasi (Drouza et al., 2019).



Gambar 1 Grafik sinyal *Electron Spin Resonance*

Martin G. Bakker menjelaskan bahwa Spektroskopi resonansi paramagnetik elektron (EPR), juga dikenal sebagai spektroskopi resonansi spin elektron (ESR), memanfaatkan penyerapan radiasi gelombang mikro oleh elektron yang tidak berpasangan dalam medan magnet. Interaksi antara elektron tidak berpasangan dan inti magnetik di dekatnya membantu mengidentifikasi spesies paramagnetik dan dapat memberikan informasi tentang gerakan molekuler dan polaritas lokal, pH, viskositas, konsentrasi, dan aksesibilitas ke spesies paramagnetic lainnya (Bakker et al., 2020).

Chryssoula Drouza (2018) mengatakan dalam risetnya spektroskopi resonansi paramagnetik elektron (EPR), juga dikenal sebagai spektroskopi resonansi spin elektron (ESR), adalah teknik utama menuju pengembangan metode untuk eksplorasi spesies sensitif EPR, seperti radikal bebas, spesies oksigen reaktif (ROS), nitrogen spesies reaktif (NRS), dan radikal yang berpusat pada C dan ion logam. Metode ini bertujuan untuk: (a) kuantifikasi spesies radikal, (b) eksplorasi mekanisme reaksi kimia redoks dalam makanan, (c) penilaian kapasitas antioksidan makanan, dan (d) kualitas, stabilitas, dan umur simpan makanan. Untuk tujuan ini, inisiasi dan deteksi radikal yang berbeda telah digunakan dalam makanan tergantung pada kimia sistem target dan jenis informasi yang diperlukan, tercantum dalam: induksi radikal oleh (a) gelombang mikro, UV, atau radiasi; (b) pemanasan; (c) penambahan logam; dan (d) penggunaan oksidan (Drouza et al., 2019).

Proses Kerja ESR

ESR digunakan untuk mengamati konsentrasi radikal bebas (Cook et al., 2022). Saat atom ataupun molekul dengan elektron tidak berpasangan diberi medan magnet yang homogen hingga momentum magnetik elektron bebas hendak berhubungan dengan medan magnet sehingga tercipta tingkat-tingkat energi spin. Elektron hendak bertransisi dari sesuatu tingkatan energi spin ke tingkatan energi spin yang lebih besar saat ada energi yang cocok buat transisi (Sezer et al., 2019). Pada ESR, energi buat transisi elektron disediakan oleh osilator yang sediakan gelombang radio. Gelombang dengan frekuensi f mempunyai tenaga sebesar hf (Paksu & Engin, 2022). Energi hf tersebut setelah itu diradiasikan pada atom buat transisi elektron. Dikala foton diradiasikan pada

radikal bebas, hingga tenergi foton hendak diserap elektron bebas buat bertransisi ke tingkatan energiyang lebih besar bila besar energi foton itu sesuai dengan selisih tingkatan energi elektron. Peristiwa ini merupakan peristiwa resonansi. Resonansi terjalin pada nilai frekuensi serta medan magnet yang penuh persamaan resonansi. Sehingga buat memperoleh peristiwa resonansi bisa dicoba dengan memvariasikan besarnya f ataupun B . Resonansi bisa diperoleh dengan memvariasikan nilai medan magnet (B) buat satu nilai f , ataupun kebalikannya, memvariasikan nilai f buat satu nilai B (Guzik & Shukla, 2017a).



Gambar 2 Alat Spektrometer Electron Spin Resonance

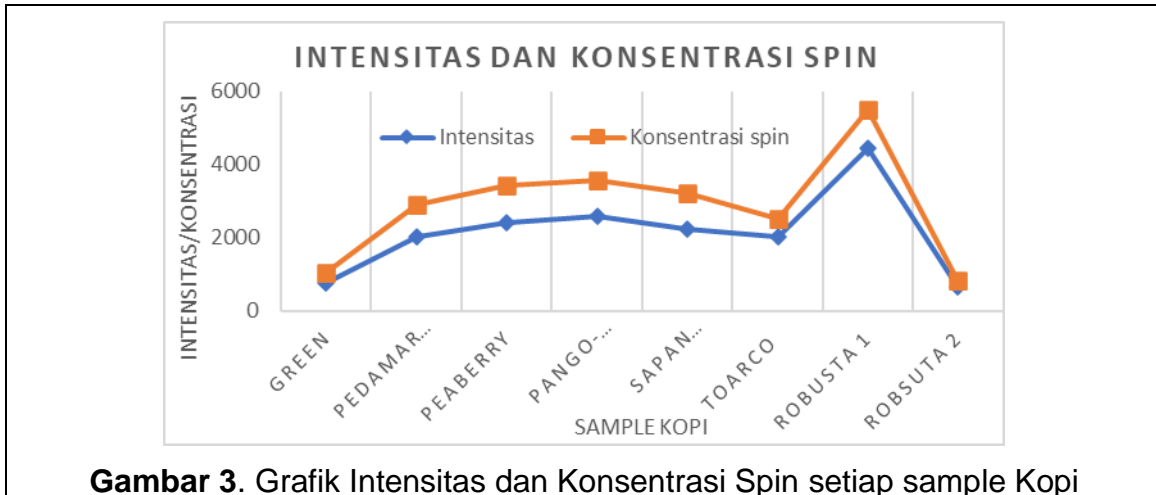
Metoda ESR dapat menunjukkan adanya radikal bebas, menghitung g-faktor DPPH, menentukan bentuk sinyal penyerapan, dan menggunakan ESR untuk menyelidiki molekul lain. Adapun langkah-langkah penelitian ini secara umum dibagi menjadi 4 tahapan, yaitu:

- a. Langkah pertama adalah penentuan pulsa resonansi yang menunjukkan adanya radikal bebas pada sampel DPPH,
- b. Langkah kedua adalah penentuan nilai g-faktor DPPH,
- c. Langkah ketiga adalah penentuan persamaan sinyal penyerapan, dan
- d. Langkah keempat adalah penentuan resonansi pada sample kopi Arabika dan Robusta dari daerah Toraja (Sezer et al., 2019).

Resonansi spin elektron (ESR) banyak digunakan sebagai teknik yang kuat, tidak merusak dan sangat sensitif untuk mendeteksi radikal bebas dalam sistem pangan. Ini dapat diterapkan untuk identifikasi langsung spesies oksigen yang sangat reaktif, spesies paramagnetik organik dan anorganik dan penyaringan makanan untuk potensi toksisitas (Wang et al., 2019). Aplikasinya mencakup penyelidikan stabilitas oksidatif makanan dan sifat makanan yang diiradiasi termasuk buah-buahan dan sayuran, daging dan ikan, rempah-rempah, biji-bijian sereal, dan biji minyak. ESR dapat digunakan untuk identifikasi / kuantifikasi radikal bebas dalam makanan, untuk oksimetri spin-label, estimasi pemulungan radikal bebas, stabilitas makanan, dan aktivitas chelating, dengan minat khusus untuk makanan yang diproses menggunakan teknologi inovatif, dengan keunggulan utama darinya. sensitivitas tinggi, spesifisitas, dan jumlah sampel yang dibutuhkan rendah dan saat ini banyak jenis instrumen ESR tersedia secara komersial. Namun, karena sifat makanan yang berbeda, pengembangan teknik ESR baru dan metode analisis yang dirancang khusus untuk mempelajari makanan sangat menarik di masa depan (Barba et al., 2020).

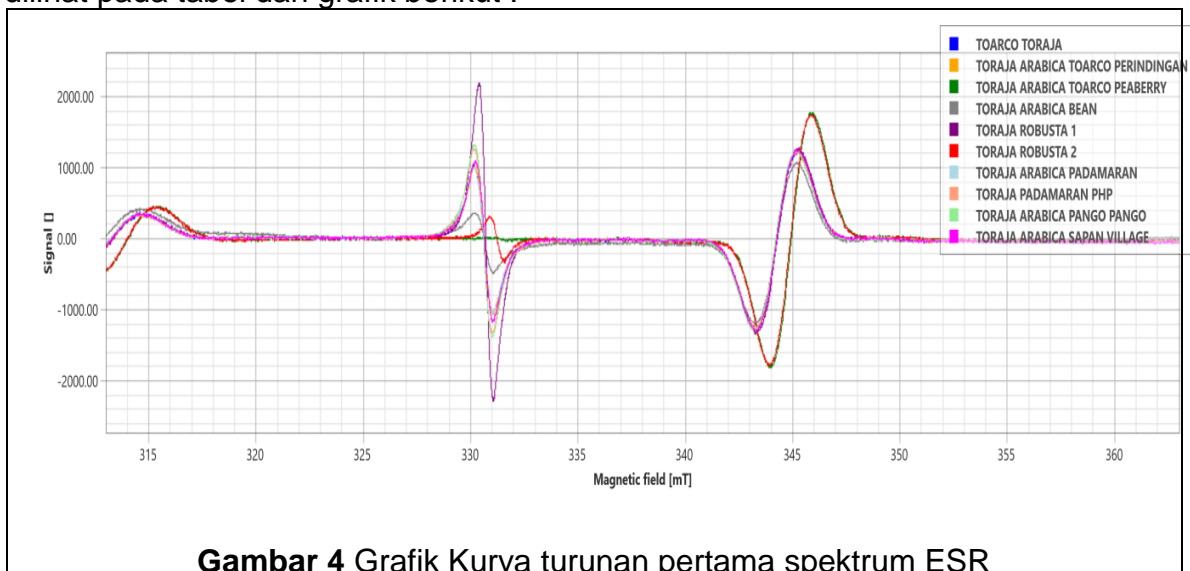
GP Guzik (2017) mengatakan bahwa beberapa aplikasi spektroskopi resonansi spin elektron (ESR) dalam ilmu pangan menjelaskan bagaimana spektrum ESR menghasilkan informasi yang berguna terkait dengan iradiasi atau metode pengolahan makanan lainnya. Contoh yang dipilih antara lain buah iradiasi/olahan, rempah-rempah, jamu, dan minuman (Guzik & Shukla, 2017b).

3. Hasil



Gambar 3. Grafik Intensitas dan Konsentrasi Spin setiap sample Kopi

Pada saat pengambilan data dari seluruh sampel kopi, kondisi spektrometer ESR adalah sebagai berikut: Frekwensi 9,27 GHz, luas sapuan 313-363 mT, Scanning Time 60 second, modulasi 0,6mT, modulasi frekwensi 100, temperatur 30,8 °C. Intensitas sinyal setiap sample kopi berbeda setiap sample. Ini menunjukkan bahwa jumlah atau konsentrasi radikal bebas setiap sample kopi berbeda pula satu sama lain. Hal yang sama trend data konsentrasi spin juga berbeda satu sama lain. Intensitas dan konsentrasi untuk setiap sample dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut :



Gambar 4 Grafik Kurva turunan pertama spektrum ESR

Tabel 1. Data Parameter Electron Spin Resonance Kopi Robusta dan Arabica Asal Toraja

PARAMETER ESR	ARABICA FROM TORAJA						ROBUSTA	
	GREEN	PEDAMARAN	PEABERRY	PANGO-PANGO	SAPAN VILAGE	TOARCO	ROBUSTA 1	ROBUSTA 2
	BEAN	1000 -1200 DPL	1200 - 1500 DPL	1400-1500 DPL	1500 - 1700 DPL	BLEND		
INTENSITAS (AU)	750,00	2028,09	2400,02	2600,20	2239,39	2028,10	4444,54	657,57
MICROWAVE (GHz)	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2
LINEWIDTH (mT)	0,8605	0,9303	0,9303	0,8610	0,9301	0,6837	0,6837	0,7096
LINESHAPE	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian	Gaussian
$B_{from} - B_{to}$ (mT)	313 - 363	313 - 363	313 - 363	313 - 363	313 - 363	313 - 363	313 - 363	313 - 363
SCANNING TIME (second)	60	60	60	60	60	60	60	60
MODULASI (mT)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
MODULASI FREK	100	100	100	100	100	100	100	100
MICROWAVE FREK (GHz)	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27
TEMPERATURE (°C)	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8
MASSA (miliGram)	0,1134	0,1678	0,1518	0,1725	0,1125	0,1592	0,1217	0,1195
konsentrasi spin (relatif)	277,673	877,61	1038,56	963,79	968,63	474,01	1038,79	165,55

4 Pembahasan

Konsentrasi Spin atau radikal Bebas

Konsentrasi spin atau konsentrasi radikal bebas menyatakan jumlah elektron tak berpasangan yang terdapat pada species. Informasi konsentrasi spin didapat dari intensitas spektrum ESR. Dengan kata lain luas daerah di bawah kurva absorpsi menunjukkan konsentrasi spin yang terdapat pada species. Konsentrasi spin dapat dinyatakan dalam ukuran Relatif terhadap satu sama lain sampel yang diketahui konsentrasi spinnya (J. Jiang et al., 2018).

Estimasi Konsentrasi Radikal Bebas dapat didasarkan pada intensitasnya dari spektrum ESR sebanding dengan jumlah elektron tidak berpasangan dalam spesimen (Mignon et al., 2022). Untuk sampel eksperimental kami, pertama-tama perlu ditentukan kurva saturasi daya gelombang mikro untuk spektrum, untuk memastikan hal itu pada dasarnya kondisi tidak jenuh digunakan spektrumnya tidak mungkin persis sama untuk satu baris dengan Lorentzian atau Gaussian, atau campuran keduanya. Kurva saturasi untuk bubuk kopi pada suhu 30,8°C. Meskipun sebagian besar literatur tentang radikal bebas dalam kopi terkonsentrasi pada biji kopi panggang yang dipanaskan, tetapi biji kopi dipengaruhi oleh usia dan kondisi penyimpanan.

Berdasarkan pada tabel 1 diatas, konsentrasi radikal bebas dinyatakan oleh intensitas sinyal ESR dalam satuan AU. Berturut-turut intensitas tinggi ke rendah dimiliki sample Robusta 1 (444,54), Pearbury (2040,02), Pango-pango (2600), Sapan Vilage (2239,39), Padamaran (2028), green bean (750) dan Robusta 2 (657,57). Ini artinya, antioksidan tinggi dimiliki oleh sample dengan intensitas atau konsentrasi radikal bebas yang rendah. Data ini menunjukkan bahwa efek suhu pemanggangan berpengaruh terhadap kadar antioksidan sample kopi.

Mostafa (2022) dalam risetnya mengatakan ekstrak kopi mengandung polifenol 391,6 mg GAE/100 g berat kering dan mengungguli asam askorbat pada ketiga pengujian, meskipun faktanya asam askorbat adalah senyawa murni dan ekstrak kopi mengandung persentase senyawa antioksidan. Itu menunjukkan bahwa kopi hijau adalah antioksidan kuat, sebagaimana dibuktikan oleh banyak penelitian (Sayed Mostafa & Fawzy El Azab, 2022). Pendeteksian radikal bebas dengan menggunakan ESR juga dilakukan Joaquín Velasco (2020) melalui studi yang berbeda telah menunjukkan bahwa deteksi radikal bebas oleh ESR spin trapping memberikan informasi yang berguna tentang kerentanan terhadap oksidasi minyak curah dan sesuai dengan stabilitas oksidatif sampel yang berbeda untuk tujuan perbandingan. Dengan tujuan yang sama, perangkap putaran ESR dievaluasi dalam pekerjaan ini untuk *in situ* deteksi radikal dalam minyak mikroenkapsulasi kering (Velasco et al., 2021).

Rosa Escudero (2018) melaporkan hasil penelitiannya bahwa akumulasi dan peluruhan radikal bebas dalam enam varietas keju, disinari (0–4 kGy) dalam akselerator elektron, telah dipelajari dengan spektroskopi resonansi spin elektron (ESR). Hasil menunjukkan bahwa analisis dengan ESR (atau resonansi paramagnetik elektron, EPR) cocok untuk mengevaluasi, baik secara kualitatif maupun kuantitatif, perlakuan iradiasi berbagai jenis keju (Escudero et al., 2019).

Ufuk Paksu (2022) melaporkan dalam penelitiannya bahwa dua kelompok berbeda dari buah kering murbei putih (*Morus Alba L.*) dijual di pasar Turki diselidiki oleh teknik spektroskopi ESR X-band untuk tujuan deteksi iradiasi. Tidak ada sinyal resonansi yang terdeteksi dalam spektrum ESR dari sampel yang tidak disinari. Setelah iradiasi, sinyal resonansi multi-garis identik diinduksi dalam spektrum ESR dari kedua jenis sampel, kecuali untuk intensitas. Pada dosis 2 dan 10 kGy, stabilitas jangka panjang dari radikal yang diinduksi radiasi pada suhu kamar diselidiki selama periode penyimpanan sekitar 100 hari. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa teknik ESR dapat digunakan untuk membedakan buah murbei putih yang diiradiasi dengan yang tidak diiradiasi (Paksu & Engin, 2022).

Ada beberapa perbedaan dalam literatur tentang klasifikasi biji kopi, tetapi penelitian terbaru menunjukkan bahwa mereka tidak mentolerir pengeringan dan akibatnya biji kopi hijau yang disimpan adalah kemungkinan mengalami proses radikal bebas yang mirip dengan yang ada di biji lainnya. Namun demikian, ada perbedaan antara komposisi kopi matang dan belum matang yang mempengaruhi kualitas produk panggang. Tahap awal dari proses pemanggangan kopi melibatkan pengeringan biji secara lengkap. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 1, ini juga menghasilkan angka yang cukup besar penurunan intensitas sinyal radikal bebas ESR untuk kopi robusta, tetapi tanpa perubahan signifikan pada linewidth.

Yahayu (2020) menyimpulkan bahwa ekstrak kopi dari greenbean atau biji panggang menunjukkan radikal bebas yang kuat aktivitasnya. Perbedaan level aktivitas antioksidan antara greenbean dan panggang ekstrak kacang yang diekstrak dari varietas yang sama juga dicatat. Dalam beberapa varietas kopi, biji pemanggangan mengurangi aktivitas antioksidan, sedangkan pada lain sebaliknya dicatat. Tampaknya efek akhir tergantung pada komposisi kimia biji setiap varietas kopi, tapi ini hipotesis memerlukan penyelidikan lebih lanjut. Selain itu, waktu pemanggangan terbukti mempengaruhi aktivitas antioksidan biji kopi sangrai. Pengamatan menunjukkan bahwa waktu pemanggangan harus dioptimalkan untuk mempertahankan tingkat aktivitas antioksidan setinggi mungkin (Yahayu et al., n.d.).

Pada tabel 1, dapat dilihat dari sampel menunjukkan perbedaan intensitas sinyal ESR yang berarti menunjukkan perbedaan konsentrasi radikal bebas. Sample green bean arabica Toraja memiliki konsentrasi terkecil, ini berarti potensi antioksidannya lebih besar. Konsentrasi spin sangat kecil juga dimiliki oleh sample Robusta 2. Sementara untuk arabika yang mengalami pemanasan sama pada suhu 220°C konsentrasi radikal bebas bervariasi. Berdasarkan pada data sinyal ESR tersebut, suhu pemanasan (*roasting*) masih dapat diturunkan sehingga konsentrasi radikal bebas menurun atau potensi antioksidan yang dikandung kopi masih tetap tinggi.

5. Kesimpulan

Perbedaan intensitas sinyal ESR yang berarti menunjukkan perbedaan konsentrasi radikal bebas. Sample green bean arabica Toraja memiliki konsentrasi terkecil, ini berarti potensi antioksidannya lebih besar. Konsentrasi spin sangat kecil juga dimiliki oleh sample Robusta 2. Sementara untuk arabika yang mengalami pemanasan sama pada suhu 220°C konsentrasi radikal bebas bervariasi.

5. Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak Toarco Jaya dan Pengelola Laborarium khususnya Lab ESR di Batan Jakarta.

Daftar Pustaka

- Alamri, E., Rozan, M., & Bayomy, H. (2022). A study of chemical Composition, Antioxidants, and volatile compounds in roasted Arabic coffee: Chemical Composition, Antioxidants and volatile compounds in Roasted Arabic Coffee. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5). <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.03.025>
- Alves, A. L., Leitão, A. E. B., Souza, P. E. N. de, Santos, M. de F. P. dos, Moscon, P. S., Pessoa, M. S., Pinheiro, C. A., Morais, P. C., & Partelli, F. L. (2021). Antioxidant Activity and Stable Free Radicals in Robusta Green Coffee Genotypes/ Atividade antioxidante e Radicais Estáveis Livres em Genótipos de Café Verde Robusta. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 37312–37330. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-275>
- Bakker, M. G., Fowler, B., Bowman, M. K., & Patience, G. S. (2020). Experimental methods in chemical engineering: Electron paramagnetic resonance

- spectroscopy-EPR/ESR. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 98(8), 1668–1681. <https://doi.org/10.1002/cjce.23784>
- Barba, F. J., Roohinejad, S., Ishikawa, K., Leong, S. Y., El-Din A Bekhit, A., Saraiva, J. A., & Lebovka, N. (2020). Electron spin resonance as a tool to monitor the influence of novel processing technologies on food properties. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 77–87. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.03.032>
- Cook, R. L., Ampiah, E., Sprunger, P. T., & Hall, R. W. (2022). Electron paramagnetic resonance spectroscopy: Part II the view forward. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00088-4>
- Drouza, C., Spanou, S., & D. Keramidas, A. (2019). EPR Methods Applied on Food Analysis. In *Topics From EPR Research*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79844>
- Eaton, G. R., & Eaton, S. S. (2021). Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy. *Comprehensive Coordination Chemistry III*, 1–9, 44–59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14621-9>
- Escudero, R., Segura, J., Velasco, R., Valhondo, M., Romero de Ávila, M. D., Garcia-Garcia, A. B., & Cambero, M. I. (2019). Electron spin resonance (ESR) spectroscopy study of cheese treated with accelerated electrons. *Food Chemistry*, 276, 315–321. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.09.101>
- Goodman, B. A., & Yeretian, C. (2015). Free Radical Processes in Coffee I-Solid Samples. *Processing and Impact on Active Components in Food, December*, 559–566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00067-6>
- Guzik, G. P., & Shukla, A. K. (2017a). ESR Detection of Irradiated Food Materials. *Electron Spin Resonance in Food Science*, 45–62. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805428-4.00004-0>
- Guzik, G. P., & Shukla, A. K. (2017b). ESR Detection of Irradiated Food Materials. *Electron Spin Resonance in Food Science*, 45–62. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805428-4.00004-0>
- Halliwell, B. (2020). Reflections of an aging free radical. In *Free Radical Biology and Medicine* (Vol. 161, pp. 234–245). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.10.010>
- Isnindar, I., Wahyuono, S., & Widyarini, S. (2017). Aktivitas Antioksidan Buah Kopi Hijau Merapi (The Antioxidant Activity of Green Coffee Cherries at Merapi). *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, 2(02), 130.
- Jiang, J., Zang, S., Li, D., Wang, K., Tian, S., Yu, A., & Zhang, Z. (2018). Determination of antioxidant capacity of thiol-containing compounds by electron spin resonance spectroscopy based on Cu²⁺ ion reduction. *Talanta*, 184, 23–28. <https://doi.org/10.1016/J.TALANTA.2018.02.098>
- Jiang, S., Xie, Y., Li, M., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., & Yao, W. (2020). Evaluation on the oxidative stability of edible oil by electron spin resonance

- spectroscopy. *Food Chemistry*, 309, 125714.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125714>
- Jung, S., Gu, S., Lee, S. H., & Jeong, Y. (2021). Effect of roasting degree on the antioxidant properties of espresso and drip coffee extracted from *coffea arabica* cv. Java. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(15).
<https://doi.org/10.3390/app11157025>
- Mignon, L., Desmet, C. M., Harkemanne, E., Tromme, I., Joudiou, N., Wehbi, M., Baurain, J.-F., & Gallez, B. (2022). Noninvasive detection of the endogenous free radical melanin in human skin melanomas using electron paramagnetic resonance (EPR). *Free Radical Biology and Medicine*, 190, 226–233.
<https://doi.org/10.1016/J.FREERADBIOMED.2022.08.020>
- Paksu, U., & Engin, B. (2022). Electron spin resonance (ESR) spectroscopy study of gamma-irradiated dried white mulberry (*Morus Alba* L.) fruits. *Radiation Physics and Chemistry*, 197, 110216.
<https://doi.org/10.1016/J.RADPHYSICHEM.2022.110216>
- Pascual, E. C., Goodman, B. A., & Yeretjian, C. (2002). Characterization of free radicals in soluble coffee by electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21), 6114–6122.
<https://doi.org/10.1021/jf020352k>
- Sayed Mostafa, H., & Fawzy El Azab, E. (2022). Efficacy of green coffee as an antioxidant in beef meatballs compared with ascorbic acid. *Food Chemistry: X*, 14, 100336. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2022.100336>
- Senesi, G. S., & Senesi, N. (2022). Electron paramagnetic resonance spectroscopy: Part I Historicall Perspectives. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00071-9>
- Setyani, S., Subeki, S., & Grace, H. A. (2018). Evaluasi Nilai Cacat dan Cita Rasa Kopi Robusta (*Coffea canephora* L.) yang Diproduksi IKM Kopi di Kabupaten Tanggamus [Evaluation of Defect Value and Flavour Robusta Coffee (*Coffea canephora* L.) Produced by Small and Medium Industri Sector of Coffee in Tanggamus District]. *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 23(2), 103.
<https://doi.org/10.23960/jtihp.v23i2.103-114>
- Sezer, M. Ö., Ece, E., Uslu, A., Ozmen, A., & Sayin, U. (2019). Determination of the irradiation effects on senna (*Casia acutifolia*) leaves by ESR technique and microbiological analysis. *Radiation Physics and Chemistry*, 165, 108434.
<https://doi.org/10.1016/J.RADPHYSICHEM.2019.108434>
- Troup, G. J., Navarini, L., Liverani, F. S., & Drew, S. C. (2015). Stable radical content and anti-radical activity of roasted arabica coffee: From in-tact bean to coffee brew. *PLoS ONE*, 10(4), 10–16.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122834>
- Velasco, J., Andersen, M. L., & Skibsted, L. H. (2021). ESR spin trapping for in situ detection of radicals involved in the early stages of lipid oxidation of dried microencapsulated oils. *Food Chemistry*, 341, 128227.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.128227>

- Wang, L., Xiao, R., & Mo, J. (2019). Quantitative detection method of semiquinone free radicals on particulate matters using electron spin resonance spectroscopy. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101614. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101614>
- Wojtowicz, E., Krupska, A., & Zawirska-Wojtasiak, R. (2017). Antioxidant activity and free radicals of roasted herbal materials. *Herba Polonica*, 63(2). <https://doi.org/10.1515/hepo-2017-0011>
- Yahayu, M., Joe Dailin, D., Abd Malek, R., & Zulaiha Hanapi, S. (n.d.). *Antioxidant Activity In Green And Roasted Coffee: A Critical Review Disease-Suppressive Effect of Compost Tea Against Phytopathogens in Sustaining Herbal Plant Productivity View project A thermotolerant Isolate Of Saccharomyces cerevisie With Relatively High Yield. View project.* <https://www.researchgate.net/publication/346110317>
- Yashin, A., Yashin, Y., Wang, J. Y., & Nemzer, B. (2013). Antioxidant and antiradical activity of coffee. In *Antioxidants* (Vol. 2, Issue 4, pp. 230–245). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox2040230>