

Aktivitas Antioksidan dari Produk Samping Olahan Jeruk

Antioxidants Activity from Processed Citrus Fruit By-Products

Khintan Putriani Silalahi¹, Yuliana Reni Swasti^{*1}, Franciscus Sinung Pranata¹

¹Prodi Biologi, Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Received: 21-01-2021

Accepted: 24-09-2021

Published online: 18-03-2022

*Correspondent:

Yuliana Reni Swasti

yulianareni@gmail.com



DOI:

10.20473/amnt.v6i1.2022.100-111

Available online at:

<https://e-journal.unair.ac.id/AMNT>

Keywords:

Antioksidan, Polifenol, Jeruk, Produk Samping, Kulit Jeruk

ABSTRAK

Latar Belakang: Aktivitas radikal bebas yang merusak protein, DNA, dan membran sel tubuh manusia menyebabkan stres oksidatif, sehingga diperlukannya antioksidan untuk menetralkan efek radikal bebas. Antioksidan yang sudah ada dan umum digunakan berupa antioksidan sintesis, bila penggunaannya dalam skala besar dapat memberi dampak buruk pula bagi kesehatan.

Tujuan: Review ini bertujuan untuk mengetahui potensi produk samping pengolahan buah jeruk sebagai sumber antioksidan alami, metode ekstraksi dan evaluasi antioksidan, serta pengaplikasian di bidang pangan.

Diskusi: Buah jeruk sudah dikenal sebagai buah yang memiliki banyak manfaat kesehatan, serta adanya kandungan metabolit sekunder berupa senyawa polifenol dalam buah jeruk yang berperan sebagai senyawa antioksidan alami. Produk samping hasil pengolahan buah jeruk berupa kulit dan biji jeruk dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan senyawa antioksidan. Aplikasinya dalam produk pangan memberi nilai tambah terhadap kemampuan antioksidan dan mencegah terjadinya oksidasi lipid.

Kesimpulan: Produk samping olahan jeruk berupa kulit jeruk *freeze-dried* bentuk bubuk dapat diekstraksi metode *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE), menghasilkan aktivitas antioksidan yang tinggi, dengan kemampuan mengekstrak senyawa polifenol jenis antioksidan lipofilik dan hidrofilik.

ABSTRACT

Background: The activity of free radicals that damages proteins, DNA, and cell membranes of the human body cause oxidative stress so antioxidants are needed to neutralize the effects of free radicals. Antioxidants that already exist and are commonly used are in the form of synthesis antioxidants, their use on a large scale also has a negative impact on health.

Objective: This review aimed to determine the potential of citrus fruit by-products as a source of natural antioxidants, antioxidant extraction and evaluation methods, and application in the food sector.

Discussion: Citrus fruit is known as a fruit that has many health benefits, and the presence of secondary metabolites in citrus plants acts as a natural antioxidant compound. By-products of the processing of citrus fruit in the form of peels and seeds can be used to obtain antioxidant compounds. Its application in food products adds value to antioxidant abilities and prevents lipid oxidation.

Conclusion: By-products of the processing citrus fruit in the form of orange peel freeze-dried powder can be extracted with the *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) method, resulting in high antioxidant activity, with the ability to extract polyphenol compounds, lipophilic and hydrophilic antioxidants.

Keywords: Antioxidant, Polyphenol, Citrus, By-Products, Citrus Peel

PENDAHULUAN

Penyakit degeneratif seperti, kanker, inflamasi, diabetes, kardiovaskular, dan Alzheimer merupakan akibat dari stres oksidatif dalam tubuh manusia yang terpapar radikal bebas berlebihan. Radikal bebas berupa *Reactive Oxygen Species* (ROS) dalam jumlah berlebihan dan tidak seimbang dengan antioksidan endogen dapat memengaruhi kerusakan molekul protein, lipid, RNA, dan DNA¹. Peran antioksidan menjadi penting dalam menghentikan reaksi berantai radikal bebas baik dengan menangkal atau menetralkan efek radikal bebas². Antioksidan eksternal yang umum digunakan dibidang kesehatan dan pangan berupa antioksidan sintesis seperti, *Propyl Galat* (PG), *Butylated Hydroxy-Toluene* (BHT) dan *Butylated Hydroxy-Anisole* (BHA). Namun, penggunaan antioksidan sintesis secara berlebihan dapat bersifat *toxic* bagi manusia³.

Perkembangan penelitian dalam mencari dan mengidentifikasi antioksidan alami dari tanaman terus dilakukan sebagai alternatif untuk mempertahankan kehidupan dan meningkatkan nilai produk pangan⁴. Buah jeruk digemari konsumen seluruh dunia karena warna, rasa, dan aromanya yang menarik. Besarnya tingkat konsumsi akan buah jeruk dipengaruhi manfaat kesehatannya yang potensial serta peran senyawa polifenol sebagai sumber antioksidan⁵. Pengolahan buah jeruk di industri umumnya dalam bentuk minuman jus menghasilkan produk samping berupa kulit, biji, dan daging buah hingga 50% dari total buah⁶. Produk samping jeruk yang hanya dijadikan limbah tersebut terkandung polifenol yang dapat berperan sebagai sumber antioksidan alami⁷.

Senyawa polifenol dari produk samping berupa bagian kulit dan biji jeruk sebagai sumber antioksidan menarik perhatian untuk ditelaah lebih lanjut. Metode ekstraksi dan evaluasi aktivitas antioksidan dari sampel produk samping pengolahan jeruk menjadi hal penting untuk menentukan kategori kemampuan aktivitas antioksidan. Dengan demikian, antioksidan alami dari produk samping pengolahan jeruk dapat diterapkan dalam industri pangan dan kesehatan sebagai pengganti antioksidan sintesis. Naskah ini bertujuan untuk mengulas potensi dari produk samping pengolahan jeruk berupa kulit dan biji sebagai sumber antioksidan alami, metode ekstraksi dan evaluasi aktivitas antioksidan, serta memberi informasi ilmiah dalam bidang pangan.

DISKUSI

1. Produk Samping Olahan Jeruk sebagai Antioksidan

Citrus (famili *Rutaceae*) memiliki 17 spesies dan 52 varietas yang merupakan komoditas buah-buahan terbesar di dunia. Tanaman ini banyak ditanam di daerah tropis dan subtropis, dengan produksi tahunan sekitar 102 juta ton⁸. Buah jeruk kaya akan sumber fitokimia, seperti vitamin (A, C, dan E), unsur mineral, flavonoid, kumarin, limonoid, karotenoid, pektin, dan senyawa lainnya⁹. Adanya senyawa fitokimia dalam jeruk berperan dalam fungsi biologis termasuk antioksidan, anti-inflamasi, dan anti-karsinogenisitas. Perannya sebagai antioksidan menunjukkan kemampuan dalam

mempertahankan struktur dan fungsi sel dengan efektif membersihkan radikal bebas, menghambat reaksi peroksidasi lipid, dan mencegah kerusakan oksidatif lain¹⁰.

Pengolahan buah jeruk menjadi minuman jus merupakan sektor industri besar hampir di seluruh dunia. Produk samping berupa kulit, biji, dan daging buah yang dihasilkan dalam skala besar mencapai 50% dari total buah jeruk. Hal ini mendorong pemanfaatan produk samping jeruk untuk meminimalkan pencemaran lingkungan¹¹. Produk samping utama dari industri pengolahan jeruk berupa kulit jeruk secara tradisional dijadikan sebagai molase untuk pakan ternak, sumber serat (pektin), dan sumber bahan bakar¹². Senyawa pektin dari kulit jeruk secara dominan sudah banyak diolah menjadi bentuk gel sebagai bahan fungsional dalam industri pangan, farmasi, dan kosmetik¹³.

Penelitian yang sudah ada menunjukkan produk samping pengolahan buah jeruk berupa kulit dan biji terkandung senyawa bioaktif berupa flavonoid, asam fenolik, mineral, dan karotenoid yang dapat berperan sebagai antioksidan alami⁷. Polifenol dapat berperan sebagai terminator radikal bebas yang umum ditemukan dalam senyawa flavonoid dan asam fenolik. Kandungan flavonoid yang tinggi dalam suatu bahan dapat meningkatkan aktivitas antioksidan melalui reaksi pemulungan atau pengkelat terhadap radikal bebas¹⁴.

1.1 Kulit Buah Citrus

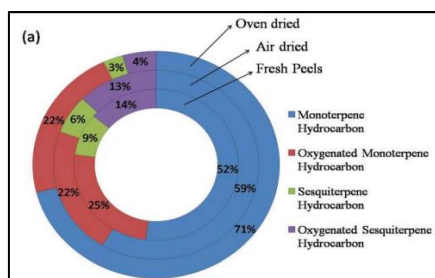
Produk samping primer dari pengolahan buah jeruk yaitu, kulit yang merupakan sumber senyawa polifenol berupa, flavonoid dan fenolik. Flavonoid pada kulit jeruk berupa golongan glikosida, yaitu hesperidin dan naringin, serta golongan O-metilasiaglikon dari flavon seperti, nobiletin dan tangeretin yang merupakan *Polymethoxylated Flavones* (PMFs)¹⁵.

Senyawa flavonoid pada kulit jeruk dengan konsentrasi tertinggi yang umum ditemukan yaitu, hesperidin memiliki kemampuan sebagai antioksidan dalam mengurangi ROS dalam sel dan mengoptimalkan aktivitas enzim mitokondria. Selain hesperidin, senyawa flavonoid kelompok *Polymethoxylated Flavones* (PMFs) pada kulit jeruk berupa nobiletin memiliki kemampuan dalam berbagai aplikasi terapeutik termasuk antioksidan, sifat antitumor, baik dalam model *in vitro* dan *in vivo*¹⁶. Ekstrak kulit lemon (*Citrus limon* Burm.) kultivar Pangdelusaningmeng dengan pelarut metanol 80% menunjukkan senyawa flavonoid kelompok flavanon tertinggi berupa hesperidin (3,315 µg/g FW) dan kelompok *Polymethoxylated Flavones* (PMFs) berupa nobiletin (107,3 µg/g FW) dengan total senyawa flavonoid sebesar 8,30 g/kg (RE)¹⁷. Ekstrak kulit *Citrus reticulata* (Xinhui) menunjukkan senyawa nobiletin dan tangeritin kelompok *Polymethoxylated Flavones* (PMFs) lebih tinggi dibandingkan senyawa naringin dan hesperidin kelompok flavanon terglisosilasi dengan total senyawa flavonoid sebesar 25 mg/g¹¹.

Senyawa fenolik kulit buah jeruk terkandung senyawa asam fenolik berupa, asam kafeat, asam klorogenat, p-kumarik, ferulic, dan sinapinik¹⁸.

Ekstrak kulit lemon (*Citrus limon* Burm.) kultivar Pangdelusaningmeng menunjukkan senyawa fenolik berupa, asam kafeat (741,6 µg/g FW) dan asam klorogenat (527,5 µg/g FW) dengan total kandungan fenolik sebesar 4,71 g/kg (GAE)¹⁷. Asam klorogenat merupakan golongan fenil propanoid yang memiliki aktivitas antioksidan terhadap ROS (*Reactive Oxygen Species*). Peran antioksidan dari asam klorogenat mampu mengurangi resiko terjadinya penyakit kronik, serta dapat berperan sebagai antiinflamasi, antivirus, dan antibakteri¹⁶.

Produk samping kulit jeruk dapat diolah dalam bentuk minyak atsiri. Senyawa yang ada dalam minyak atsiri kulit *Citrus* dikelompokkan menjadi empat kelas utama, yaitu monoterpen hidrokarbon, monoterpen teroksigenasi, seskuioterpen hidrokarbon, dan seskuioterpen teroksigenasi¹⁹. Minyak atsiri kulit jeruk berupa senyawa aromatik yang mengandung 85-90% senyawa volatil (monoterpen teroksigenasi, seskuioterpen hidrokarbon, dan seskuioterpen teroksigenasi) dan 1-15% senyawa non-volatil (monoterpen hidrokarbon)²⁰. Minyak atsiri kulit jeruk dapat bervariasi berdasarkan sampel kulit segar dan kering, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komposisi kelas utama minyak atsiri pada kulit jeruk segar dan kering⁸.

Destilasi air kulit *C. limon* menunjukkan minyak atsiri terkandung komponen senyawa berupa, DL-limonene (46,93 %), γ -terpinene (16,89%), tri-cyclen (6,67%), 1-beta-pinene (4,69%), dan 2-beta-pinene (3,86%). Pengujian minyak atsiri *Citrus limon* diketahui nilai total senyawa fenolik sebesar 81,82 mg GAE/g dan nilai total senyawa flavonoid sebesar 11,72 mg/g (RE). Adanya senyawa fenolik dan total senyawa flavonoid pada minyak atsiri *C. limon* berperan terhadap aktivitas antioksidan melalui uji DPPH sebesar 54,67%. Aktivitas antioksidan pada minyak atsiri *C. limon* dipengaruhi adanya senyawa dominan berupa limonene dan γ -terpinene yang merupakan golongan monoterpen dan memiliki aktivitas antioksidan yang baik²¹.

1.2 Biji Buah *Citrus*

Produk samping berupa biji jeruk dapat diolah menjadi bentuk minyak atsiri yang terkandung senyawa tokoferol (α -tokoferol dan γ -tokoferol) dan karotenoid yang berperan sebagai antioksidan. Tokoferol merupakan antioksidan kuat yang memiliki

peran terhadap stabilitas minyak melalui perlindungan asam lemak tak jenuh ganda terhadap peroksidasi dan meningkatkan nilai gizi minyak²². Karotenoid tersusun atas rantai tak jenuh ganda terkonjugasi yang memiliki kemampuan menghambat radikal bebas. Karotenoid utama yang dikuantifikasi dalam minyak biji jeruk adalah β -cryptoxanthin, β -karoten dan lutein²³.

Penelitian minyak atsiri biji *C. sinensis* mengandung metabolit sekunder berupa tokoferol, senyawa fenolik, dan karotenoid. Senyawa tokoferol yang ditemukan dalam minyak atsiri biji *Citrus sinensis* adalah α -tokoferol (153,67 mg kg⁻¹). Senyawa fenolik utama pada minyak atsiri biji jeruk berupa asam p-kumarat, asam salisilat, dan kuersetin dengan total senyawa fenolik sebesar 5,6 (mg/kg). Karotenoid dalam minyak atsiri biji *Citrus sinensis* sebesar 7,85 µg β -karoten/g yang memiliki peran sebagai pro-vitamin A, pigmen serta memiliki aktivitas antioksidan⁷. Minyak atsiri ekstrak biji *Citrus sinensis* var. Pera-rio menunjukkan total senyawa fenolik sebesar 4,91 g/kg (GAE), senyawa α -tokoferol sebesar 137,43 mg/kg, dan senyawa karotenoid sebesar 26,69 mg/kg (β -karoten)⁶.

Senyawa antioksidan dari minyak atsiri biji *Citrus limon* berupa tokoferol, karotenoid, dan fenolik. Total Senyawa tokoferol diperoleh sebesar 125 mg/kg dengan tokoferol utama berupa α -tokoferol (102 mg/kg). Total karotenoid diperoleh sebesar 4,36 (mg/kg) dengan karotenoid utama berupa lutein (3,53 mg/kg). Total senyawa fenolik yang didapat sebesar 1.196 mg/kg (GAE). Senyawa tokoferol yang ada pada minyak atsiri biji *Citrus limon* merupakan antioksidan alami utama, berdasarkan korelasinya yang signifikan terhadap aktivitas antioksidan uji DPPH sebesar 29,25 %²³.

Hasil pengujian kuantitatif total kandungan senyawa polifenol yang berperan sebagai antioksidan dari produk samping pengolahan jeruk dapat dilihat pada Tabel 1. Ekstrak kulit *Citrus limon* kultivar Pangdelusaningmeng menunjukkan kandungan total senyawa fenolik (4,71 g/kg GAE) dan flavonoid (8,30 g/kg RE)¹⁷ tertinggi dibandingkan varietas *Citrus* lain. Pada bagian kulit jeruk kaya akan flavonoid dan poli fenolat dibandingkan jaringan tumbuhan jeruk lainnya²⁴. Pada minyak atsiri biji *Citrus* berbagai spesies dan varietas, total senyawa tokoferol terutama α -tokoferol merupakan komponen senyawa utama yang memiliki kandungan antioksidan utama dibandingkan total senyawa fenolik dan karotenoid²⁵.

Kandungan senyawa polifenol yang lebih tinggi pada bagian kulit memiliki kontribusi utama sebagai sumber antioksidan alami dibandingkan bagian biji. Ekstrak kulit *Citrus* spesies *grapefruit* memiliki total kandungan fenolik (77,3 mg/g GAE) dan total kandungan flavonoid (80,8 mg/g) yang lebih tinggi dibandingkan bagian biji dengan total kandungan fenolik (19,2 mg/g GAE) dan total kandungan flavonoid (40,02 mg/g). Kandungan senyawa fenolik dan flavonoid yang tinggi pada ekstrak kulit *Citrus* spesies *grapefruit* menunjukkan

kemampuan aktivitas antioksidan pengujian DPPH sebesar 76,4 %²⁶.

Tabel 1. Kandungan antioksidan dari produk samping olahan jeruk

Jaringan Tumbuhan	Jenis Jeruk	Kandungan Antioksidan	Kandungan	Referensi
Kulit	<i>Citrus reticulata</i> (Xinhui)	Total senyawa fenolik	50,2 mg/g (GAE)	Chen et al., 2017.
	<i>Citrus limon</i> kultivar Pangdelusaningmeng		4,71 g/kg (GAE)	Xi et al., 2017.
	<i>Citrus limon</i>		81,82 mg/g (GAE)	Moosavy et al., 2017.
	<i>Citrus reticulata</i> (Xinhui)	Total senyawa flavonoid	25 mg/g (RE)	Chen et al., 2017.
	<i>Citrus limon</i> kultivar Pangdelusaningmeng		8,30 g/kg (RE)	Xi et al., 2017.
	<i>Citrus limon</i>		11,72 mg/g (RE)	Moosavy et al., 2017.
Biji	<i>Citrus sinensis</i>	Total senyawa fenolik	5,6 mg/kg (GAE)	Silva & Jorge, 2019.
	<i>Citrus sinensis</i> varietas Pera-rio		4,91 g/kg (GAE)	Jorge et al., 2016.
	<i>Citrus limon</i>		1.196 mg/kg (GAE)	Malacrida et al., 2012
	<i>Citrus sinensis</i>	Total kartotenoid	7,85 µg/g (β-karoten)	Silva & Jorge, 2019.
	<i>Citrus sinensis</i> varietas Pera-rio		26,69 mg/kg (β-karoten)	Jorge et al., 2016.
	<i>Citrus limon</i>		3,53 mg/kg (lutein)	Malacrida et al., 2012.
	<i>Citrus sinensis</i>	Total tokoferol	153,67 mg/kg (α-tokoferol)	Silva & Jorge, 2019.
	<i>Citrus sinensis</i> varietas Pera-rio		137,43 mg/kg (α-tokoferol)	Jorge et al., 2016.
	<i>Citrus limon</i>		102 mg/kg (α-tokoferol)	Malacrida et al., 2012.

2. Ekstraksi Produk Samping Olahan Jeruk

2.1. Pra-Ekstraksi

Kondisi bahan awal sampel berpengaruh terhadap kandungan fitokimia yang didapat dari hasil ekstraksi. Preparasi awal sampel sebelum diekstraksi yang harus diperhatikan yaitu, kondisi bahan awal dan bentuk serta ukuran awal. Tahap awal persiapan sampel kulit *Citrus sinensis* yaitu, sampel dibersihkan, dikeringkan dengan oven (60°C selama 72 jam), dihaluskan menjadi bentuk bubuk dengan ukuran partikel antara 0,5 mm hingga 0,1 mm menggunakan mortar dan pestle²⁷.

Kondisi bahan awal sampel yang akan diekstraksi dapat dalam keadaan segar atau dikeringkan (*oven-drying* atau *freeze-drying*). Kandungan antioksidan pada ekstrak kulit *C. limon* yang dikeringkan metode *freeze-drying* (-80°C selama 24 jam) lebih tinggi dibandingkan sampel kulit segar yang langsung diujikan setelah preparasi sampel. Ekstraksi kulit *C. limon freeze-dried* dengan etanol 70% menunjukkan nilai total kandungan fenolik

(100,0 ± 0,96 mg GAE g-1 FW) dan total kandungan flavonoid (78,15 mg QE g-1 FW) lebih tinggi dibandingkan ekstraksi kulit *C. limon* segar dengan nilai total senyawa fenolik (72,0 ± 0,67 mg GAE g-1 FW) dan total senyawa flavonoid (50,51 mg QE g-1 FW)²⁸.

Tahapan awal yang dilakukan pada sampel biji jeruk *Citrus aurantium* sebelum diekstraksi berupa, pencucian dengan air mengalir, pengeringan pada suhu ruang, dan pengecilan ukuran menjadi bentuk bubuk dengan alat blender²⁹. Pada preparasi biji jeruk *Citrus sinensis* L. Osbeck dicuci dengan air mengalir, dan dikeringkan dalam oven (suhu 40°C) sampai biji mencapai kadar air kurang dari 10%. Metode pengeringan *oven-drying* menggunakan energi panas untuk menghilangkan kelembaban dari sampel⁷.

Pemilihan metode preparasi sampel dengan pengeringan beku (*freeze-dried*) menghasilkan total senyawa fenolik yang terekstrak lebih tinggi. Total senyawa fenolik kulit jeruk *Citrus paradise* Macf metode *freeze-drying* (84,6 mg GAE/g FW) secara signifikan lebih tinggi dibandingkan sampel preparasi metode *oven-drying* (63,35 mg GAE/g FW) dan sampel kulit segar (49,14 mg GAE/g FW). Hal ini

dipengaruhi kulit jeruk *freeze-drying* memiliki senyawa fenolik konsentrasi tinggi berperan dalam reaksi redoks untuk adsorpsi dan menetralkan radikal bebas atau peroksida pengurai. Pembebasan senyawa fenolik dari struktur biologis serta perubahan struktur kimia memungkinkan fenolik yang tidak larut menjadi lebih larut dan terekstraksi maksimal¹⁵.

Pada pengeringan metode *freeze-drying* sampel dibekukan pada suhu -80°C hingga -20°C . Prinsip metode ini berdasarkan proses sublimasi, dimana zat padat diubah menjadi fase gas tanpa memasuki fase cair. Sampel dalam kondisi dibekukan dapat menonaktifkan enzim hidrolitik, sehingga senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan polisakarida dari sampel terlindungi secara maksimal. Pada tahap ekstraksi dengan suhu tinggi akan membantu dalam mempercepat pelepasan senyawa fenolik melalui perusakan dinding sel kulit buah sehingga aktivitas antioksidan yang dihasilkan tinggi³⁰.

Bentuk dan ukuran sampel yang akan diekstraksi dapat memengaruhi hasil senyawa yang akan didapatkan. Sampel dalam bentuk bubuk lebih sering digunakan untuk tahapan preparasi awal sampel, karena memiliki partikel yang lebih homogen dan lebih kecil. Kulit *Citrus sinensis* kultivar Maltese setelah *freeze-dryer* selama 72 jam (-50°C dan 0,001 mbar) dihaluskan dengan alat *coffee grinder* dan diayak untuk mendapatkan ukuran partikel standar sebesar 0,315 mm³¹. Perlakuan sampel yang dihaluskan menjadi bentuk bubuk menunjukkan kapasitas antioksidan lebih tinggi dibandingkan sampel utuh, hal ini dipengaruhi sampel dapat mudah terhomogenisasi dalam pelarut saat diekstraksi. Adanya modifikasi dan perubahan molekul intraseluler, struktur dan matriks dinding sel pada sampel yang dihaluskan akan melepaskan lebih banyak senyawa bioaktif sebagai antioksidan³².

2.2 Metode Ekstraksi

Metode ekstraksi merupakan langkah penting dalam penentuan senyawa bioaktif dari sumber yang akan diuji. Parameter pelarut yang akan digunakan dalam ekstraksi didasarkan pada sifat kimiawi dan polaritas senyawa antioksidan. Metode ekstraksi konvensional seperti, maserasi dan sokletasi. Kelebihan metode ekstraksi konvensional yaitu mendapatkan senyawa bioaktif secara sederhana namun, kelemahannya memerlukan waktu ekstraksi yang lama, membutuhkan pelarut dalam jumlah besar, paparan pelarut organik cair yang mudah terbakar dan berbahaya. Perkembangan metode non-konvensional yang ada berupa metode *Ultrasound-Assisted Extraction* (UEA) dan *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) mempunyai kelebihan dalam penggunaan pelarut yang lebih sedikit dan hasil ekstraksi yang maksimal dalam waktu yang singkat²⁷.

2.2.1 Maserasi

Ekstraksi metode maserasi adalah teknik perendaman sampel dengan pelarut dalam wadah tertutup dan didiamkan selama waktu tertentu serta adanya agitasi. Proses ini bertujuan menghancurkan dinding sel sampel untuk melepaskan fitokimia terlarut. Pada akhir proses, pelarut diuapkan dan hasil ekstraksi berupa residu padat yang diinginkan dikeluarkan dari bahan tanaman melalui pengepresan atau sentrifugasi³³. Ekstraksi kulit *Citrus hystrix* metode maserasi pelarut metanol menunjukkan hasil aktivitas antioksidan DPPH dengan nilai persen inhibisi sebesar 46,08 %⁵.

Hasil penelitian ekstraksi kulit lemon (*Citrus limonum* L.) metode maserasi dengan pelarut aseton diperoleh total senyawa fenolik (119,6 $\mu\text{g}/\text{mg}$ GAE) dan total senyawa flavonoid (56,28 $\mu\text{g}/\text{mg}$ QE) lebih tinggi dibandingkan pelarut metanol yang nilai total senyawa fenolik (26,58 $\mu\text{g}/\text{mg}$ GAE) dan total senyawa flavonoid (4,5 $\mu\text{g}/\text{mg}$ GAE). Hal tersebut berkorelasi dengan aktivitas penangkal radikal bebas DPPH dari ekstrak aseton lebih kuat dengan nilai persen inhibisi sebesar 46,52%³⁴.

2.2.2 Sokletasi

Metode sokletasi dirancang utama ekstraksi lipid, namun sekarang telah banyak digunakan untuk mengekstrak senyawa bioaktif penting dengan melakukan sampel yang dibungkus dalam timbal kertas akan menyentuh uap dari pelarut dalam labu yang diberi perlakuan panas untuk menguapkan senyawa diinginkan secara berulang³⁵. Ekstraksi kulit *Citrus japonica* var. margarita (kumquat) yang belum matang dengan pelarut aquades 80°C menghasilkan total senyawa fenolik tertinggi sebesar 3.000 mg/g GAE. Hal ini menunjukkan pelarut aquades efektif untuk mendapatkan senyawa fenolik ekstrak kulit kumquat yang sebagian besar bersifat hidrofilik. Total kandungan flavonoid tertinggi diperoleh pada ekstrak kulit kumquat yang belum matang dengan pelarut aquades 90°C sebesar 326 mg/g QE. Hasil total senyawa fenolik dan total senyawa flavonoid dari ekstrak kulit kumquat yang belum matang dengan pelarut aquades 80°C dan 90°C menunjukkan korelasi positif terhadap aktivitas antioksidan DPPH yang didapatkan sebesar 45,5% dan 46,5%, dimana kandungan total senyawa fenolik dan flavonoid yang tinggi memiliki kemampuan penangkal radikal bebas DPPH semakin tinggi³⁶.

2.2.3. Cold Pressed

Pada metode *cold pressed*, minyak dari kulit dan kutikula dihilangkan secara mekanis dan hasilnya berupa emulsi encer yang akan disentrifugasi untuk mendapatkan minyak atsiri. Hasil ekstraksi yang didapatkan berupa

minyak atsiri dalam botol kaca vial tertutup rapat disimpan dalam pada suhu -20°C ³⁷. Minyak atsiri biji *C. sinensis varietas Pera-rio* hasil ekstraksi metode *cold-pressed* aktivitas antioksidan uji DPPH sebesar 70,2%. Adanya aktivitas antioksidan yang tinggi berkorelasi terhadap konsentrasi α -tokoferol (137,43 mg/kg) pada minyak atsiri *C. sinensis varietas Pera-rio* menunjukkan aktivitas biologis dari vitamin E mampu berperan menangkal radikal bebas DPPH⁶.

2.2.4 Ultrasound-Assisted Extraction (UAE)

Metode ini memanfaatkan energi *ultrasound* (20-100 kHz) untuk melepaskan senyawa organik dan anorganik dari matriks sampel yang relatif lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat, sehingga menghemat energi yang digunakan. Pengaruh variabel suhu, tekanan, frekuensi, dan waktu sonikasi menjadi faktor pada metode UEA³⁸. Ekstrak kulit kinnow (*C. reticulata* L.) metode *Ultrasound-Assisted Extraction* (UEA) dengan pelarut metanol 80% memiliki total senyawa fenolik sebesar 32,48 mg GAE/g ekstrak dan aktivitas antioksidan pengujian DPPH sebesar 72,83%³⁹.

2.2.5 Microwave-Assisted Extraction (MAE)

Metode ekstraksi *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) menggunakan bantuan gelombang mikro 2.450 MHz, parameter proses seperti daya gelombang mikro 10 hingga 800 W, suhu 1-120°C dan waktu 1 hingga 999 detik disesuaikan secara linier. Efisiensi ekstraksi gelombang mikro

dapat diubah melalui faktor suhu ekstraksi, komposisi pelarut, dan waktu ekstraksi³¹. Ekstrak kulit *Citrus reticulata* Blanco kultivar Kinnow metode MAE pelarut metanol 66% (m/w: 5 g, 80 mL, 152 W, 49 detik) menunjukkan aktivitas antioksidan yang dievaluasi dengan uji pemulungan radikal hidroksil sebesar 26,03%⁴⁰.

Aktivitas antioksidan produk samping pengolahan jeruk dengan metode ekstraksi dan pelarut yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 2. Metode ekstraksi *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) dengan pelarut metanol 80% pada sampel kulit *C. reticulata* L. (Kinnow) menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi dengan nilai persen inhibisi sebesar 72,83%³⁹. Ekstraksi metode UAE mampu mengekstraksi senyawa polifenol yang lebih tinggi dalam waktu yang singkat, serta baik dalam mengekstraksi senyawa fenolik yang bersifat termolabil, dibandingkan metode ekstraksi konvensional yang menggunakan suhu tinggi. Jenis dan konsentrasi pelarut berpengaruh dalam ekstraksi, pelarut metanol dan etanol umum digunakan dalam ekstraksi senyawa polifenol, konsentrasi pelarut dengan penambahan aquades berpengaruh terhadap melemahkan ikatan hidrogen antara protein dan polifenol sehingga senyawa polifenol yang didapat lebih tinggi dan meningkatkan kemampuan aktivitas antioksidan⁴¹. Aktivitas antioksidan yang tinggi dipengaruhi adanya senyawa antioksidan lipofilik seperti, tokoferol dalam menangkap radikal oksigen yang dapat menghambat inisiasi dan propagasi pada reaksi rantai oksidatif dalam sistem hidrofobik, serta senyawa antioksidan hidrofilik terutama komponen fenolik bekerja secara mudah dalam mendonorkan satu atom hydrogen pada $\text{ROO}\cdot$ ⁴².

Tabel 2. Metode ekstraksi produk samping olahan jeruk terhadap aktivitas antioksidan

Metode ekstraksi	Jaringan Tumbuhan	Jenis Jeruk	Pelarut	Aktivitas Antioksidan	Referensi
Maserasi	kulit	<i>Citrus hystrix</i>	metanol	46,08%	Muthukumarasamy et al., 2018.
	kulit	lemon (<i>Citrus limonum</i> L.)	aseton	46,52%	John & Monica, 2017.
Sokletasi	kulit	<i>Citrus japonica</i> var. margarita	aquades 80°C	45,5%	Lou et al., 2016.
<i>Cold Pressed</i>	biji	<i>C. sinensis varietas Pera-rio</i>	-	70,2%	Jorge et al., 2017
<i>Ultrasound-Assisted Extraction</i> (UAE)	Kulit	<i>C. reticulata</i> L. (Kinnow)	metanol 80%	72,83%	Safdar et al., 2017.
<i>Microwave-Assisted Extraction</i> (MAE)	Kulit	<i>Citrus reticulata</i> Blanco kultivar Kinnow	Metanol 66%	26,03%	Hayat et al., 2009.

3. Evaluasi Aktivitas Antioksidan Produk Samping Olahan Jeruk

Penentuan kapasitas antioksidan menjadi indikator penting dalam pengklasifikasian tingkat aktivitas antioksidan dari sumber yang diuji. Aktivitas antioksidan suatu senyawa dapat dievaluasi dari efek antioksidan untuk mengontrol derajat oksidasi.

Antioksidan dapat mereduksi radikal bebas melalui dua mekanisme yaitu, *Hydrogen Atom Transfer* (HAT) dan *Single Electron Transfer* (SET). Pada mekanisme HAT antioksidan menyumbangkan atom hidrogen untuk menstabilkan spesies radikal bebas sehingga tidak bertambah banyak. Mekanisme SET, radikal bebas direduksi melalui sumbangan elektron dari senyawa

antioksidan. Struktur dan sifat antioksidan dari suatu sampel dalam mekanisme HAT atau SET mendominasi dalam sistem tertentu, metode uji DPPH menentukan aktivitas antioksidan melalui kedua mekanisme tersebut⁴³.

3.1 Metode ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6) sulphonic acid)

Pengujian aktivitas antioksidan metode ABTS dengan prinsip mengukur kapasitas antioksidan yang langsung bereaksi dengan radikal kation ABTS⁴⁴. Pengujian aktivitas antioksidan produk samping *Citrus reticulata* berupa kulit, residu daging buah, biji, dan jus dengan pelarut metanol metode DPPH dan ABTS menunjukkan hasil kapasitas antioksidan metode ABTS lebih tinggi dibandingkan metode DPPH. Kapasitas antioksidan ekstrak kulit *Citrus reticulata* (Manju) metode ABTS sebesar 97,31 mg/g DW, sedangkan metode DPPH sebesar 31,93 mg/g DW. Pada ekstrak biji *Citrus reticulata* (Karamandarin) aktivitas antioksidan metode ABTS (7,03 mg/gDW) lebih tinggi dibandingkan DPPH (2,45 mg/g DW). Hal ini dipengaruhi dari perbedaan reaksi kimia yang terjadi setiap metode yang dipakai⁴⁵.

3.2 Metode Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

Pada metode FRAP dilakukan pengukuran aktivitas antioksidan total yang didasarkan kemampuan sampel mereduksi ion besi Fe³⁺ menjadi ion besi Fe²⁺ membentuk kompleks biru pada panjang gelombang tertentu. Reaksi pengujian aktivitas antioksidan metode FRAP dilakukan pada ekstrak kulit *Citrus limon* kultivar Pangdelusaningmeng pada panjang gelombang 593 nm menunjukkan nilai sebesar 6,60 µM rutin equivalents (TE)/g FW. Nilai FRAP untuk menentukan aktivitas antioksidan ekstrak biji *Citrus limon* kultivar Feiminailao sebesar 3,40 µM rutin equivalents (TE)/g FW¹⁷. Aktivitas antioksidan ekstrak kulit kinnow (*Citrus reticulata*) metode FRAP dengan pelarut metanol 80% menunjukkan nilai tertinggi sebesar 27,67 mM/100 g dibandingkan ekstrak pelarut etanol 80 % (25,82 mM/100 g)³⁹.

3.3 Metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Metode pembersihan radikal bebas DPPH adalah metode yang banyak digunakan dan dapat diandalkan untuk mengevaluasi aktivitas antioksidan *in vitro* dari produk alami dan ekstrak tumbuhan⁴⁶. Ekstrak kulit *Citrus limon* kultivar Pangdelusaningmeng pelarut metanol menunjukkan aktivitas antioksidan DPPH sebesar 8,20 µM rutin equivalents (TE)/g FW =. Minyak atsiri biji *C. sinensis* varietas Pera-rio menunjukkan aktivitas antioksidan uji DPPH sebesar 70,2 %. Korelasi yang signifikan antara aktivitas antioksidan terhadap konsentrasi α-tokoferol (137,43 mg/kg) pada minyak atsiri *C. sinensis* varietas Pera-rio menunjukkan aktivitas biologis dari vitamin E mampu berperan menangkalkan radikal bebas DPPH⁶.

Pengujian aktivitas antioksidan dari berbagai jenis jeruk dengan metode evaluasi uji yang berbeda menghasilkan varietas kapasitas antioksidan dapat dilihat pada Tabel 3. Pengujian ekstrak kulit Ekstrak kulit *Citrus limon* varietas Pangdelusaningmeng dengan pelarut metanol menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi melalui uji ABTS sebesar 12,04 µM rutin equivalents (TE)/g FW. Pelarut yang digunakan untuk ekstraksi senyawa polifenol yang memiliki aktivitas antioksidan dari sampel ditentukan berdasarkan tingkat polaritas. Pelarut metanol merupakan pelarut dengan polaritas tinggi dan terbukti lebih efektif dalam mengekstraksi senyawa¹⁷.

Aktivitas antioksidan dari kulit dan biji jeruk dengan metode evaluasi ABTS lebih tinggi dibandingkan metode DPPH dan FRAP. Kemampuan senyawa polifenol dalam kulit dan biji jeruk dalam menetralkan radikal ABTS menunjukkan nilai IC₅₀ lebih rendah. Metode ABTS memiliki kelebihan dibandingkan metode lain yaitu, pengujian dengan alat sederhana, fleksibel, dapat mengukur aktivitas antioksidan yang bersifat hidrophilik maupun lipophilik, dan memiliki sensitivitas tinggi⁴⁷.

Tabel 3. Evaluasi aktivitas antioksidan produk samping olahan jeruk

Jenis Jeruk	Jaringan Tumbuhan	Pelarut	Metode Evaluasi	Aktivitas Antioksidan	Referensi
Ekstrak <i>Citrus limon</i> kultivar Pangdelusaningmeng	Kulit	Metanol	DPPH	8,20 µM rutin equivalents (TE)/g FW	2Xi et al., 2017
			ABTS	12,04 µM rutin equivalents (TE)/g FW	
			FRAP	6,60 µM rutin equivalents (TE)/g FW	
Ekstrak <i>Citrus reticulata</i> (Manju)	Kulit	Metanol	DPPH	31,93 mg/g DW	ZHANG et al., 2018.
Ekstrak kinnow (<i>Citrus reticulata</i> L.)	Kulit	metanol 80%	FRAP	27,67 mM/100 g	Safdar et al., 2017.
Minyak atsiri <i>C. sinensis</i> varietas Pera-rio	Biji	-	DPPH	70,2 %	Jorge et al., 2017.



Jenis Jeruk	Jaringan Tumbuhan	Pelarut	Metode Evaluasi	Aktivitas Antioksidan	Referensi
Ekstrak <i>Citrus limon</i> kultivar Feiminailao	Biji	Metanol	DPPH	4,01 µM rutin equivalents (TE)/g FW	Xi et al., 2017.
			ABTS	11,97 µM rutin equivalents (TE)/g FW	
			FRAP	3,40 µM rutin equivalents (TE)/g FW	
Ekstrak <i>Citrus reticulata</i> (Karamandarin)	Biji	Metanol	DPPH	2,45 mg/g DW	ZHANG et al., 2018.
			ABTS	7,03 mg/g DW	

4. Aplikasi Bidang Pangan

Konsumen saat ini menginginkan produk pangan yang bersumber dari bahan alami, aman, dan memberi manfaat kesehatan bagi tubuh manusia. Senyawa bioaktif dari produk samping pengolahan buah jeruk seperti, flavonoid, karotenoid, asam fenolik, vitamin C, dan minyak esensial dapat diaplikasikan dalam industri pangan dan bidang kesehatan. Pada produk pangan penambahan antioksidan alami dapat mengontrol dan mengurangi kerusakan oksidatif dengan menunda atau menghambat oksidasi yang disebabkan oleh ROS, serta meningkatkan masa simpan dan kualitas makanan²¹.

4.1 Sop Barley

Minyak atsiri kulit lemon dapat berperan sebagai antimikroba dan antioksidan pada produk pangan. Kemampuan minyak atsiri kulit *C. limon* diujikan pada produk pangan sop barley dalam menghambat pertumbuhan bakteri *S. aureus* hingga 15 hari penyimpanan pada suhu 4 ± 1°C. Konsentrasi minyak atsiri kulit *C. limon* 10% dan 20% menunjukkan efektivitas terbaik dalam menghambat pertumbuhan *S. aureus* setelah 12 hari penyimpanan produk pangan. Hal ini dipengaruhi karena adanya senyawa limonene dan γ-terpinene pada minyak atsiri kulit lemon yang memberikan efek toksisitas dalam merusak membran bakteri, penghambatan respirasi, dan proses pengangkutan ion²¹.

4.2 Paneer

Senyawa antioksidan dari ekstrak kulit lemon diaplikasikan pada produk paneer yang berbahan utama susu berperan dalam meningkatkan kualitas umur simpan. Ekstrak kulit lemon pelarut etanol konsentrasi 2% yang ditambahkan pada produk paneer menunjukkan kemampuan pencegahan pembentukan peroksida paling optimal. Kemampuan senyawa antioksidan dalam mencegah peroksidasi lipid dan melindungi dari oksidatif kerusakan pada produk paneer akibat paparan oksigen dan sinar matahari langsung membuat masa simpan produk semakin lama⁴⁸.

4.3 Bakso daging

Ekstrak kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) memiliki kemampuan antibakteri serta antioksidan. Kandungan senyawa fenolik total dari ekstrak kulit *C.*

sinensis pelarut etanol sebesar 2.656,58 mg GAE/100 g memiliki aktivitas antioksidan 66,41%. Senyawa fenol dalam ekstrak kulit *C. sinensis* menunjukkan adanya kemampuan antibakteri dalam penghambatan mikroorganisme *E. coli*, *S. aureus*, dan *Salmonella typhi*. Perlakuan perendaman bakso daging selama 90 menit pada ekstrak kulit *C. sinensis* konsentrasi 500 mg/mL memberikan hasil terbaik dalam menghambat mikroba hingga hari ke-4 pada suhu ruang⁴⁹.

4.4 Biskuit

Kulit *Citrus reticulata* (tangerine) yang terkandung senyawa fenolik dan flavonoid berperan sebagai antioksidan dimanfaatkan untuk dijadikan bentuk tepung. Bagian kulit jeruk umum dijadikan bentuk tepung karena tersusun dari karbohidrat, protein, dan pektin yang dapat diaplikasikan pada berbagai bentuk produk pangan. Produk biskuit yang diformulasikan tepung kulit tangerine konsentrasi 10% menunjukkan aktivitas antioksidan metode ABTS sebesar 82,07 % lebih tinggi dibandingkan biskuit formulasi tepung gandum (74,15%), berbeda nyata (P<0,05) dengan kepercayaan 95%. Tepung kulit tangerine dapat menjadi alternatif baik pengganti tepung gandum dalam pembuatan biskuit karena adanya senyawa antioksidan yang memberikan nilai positif terhadap kesehatan manusia⁵⁰.

4.5 Selai Jeruk

Aplikasi produk samping kulit *Citrus sinensis* dalam produk selai jeruk mampu meningkatkan kandungan senyawa fenolik dan kapasitas antioksidan. Produk selai jeruk memiliki aktivitas antioksidan tinggi yang berbanding lurus dengan konsentrasi ekstrak kulit jeruk yang ditambahkan. Semakin tinggi konsentrasi ekstrak kulit jeruk yang ditambahkan pada produk selai jeruk menunjukkan penurunan sensori dari segi aroma, rasa, warna, dan penerimaan keseluruhan. Hal ini dipengaruhi ekstrak kulit jeruk memiliki senyawa hesperidin yang berpengaruh terhadap perubahan rasa selai, senyawa limonene berpengaruh terhadap aroma, dan senyawa karotenoid terhadap penampilan warna produk. Konsentrasi ekstrak kulit jeruk sebesar 8% pada produk selai jeruk menunjukkan penerimaan keseluruhan terbaik oleh konsumen⁵¹.



4.6 Permen Jelly

Permen *jelly* yang diformulasikan serbuk kulit jeruk lemon berpengaruh nyata terhadap derajat kecerahan, kekenyalan, vitamin C, dan sifat organoleptik aroma, rasa, dan rasa. Semakin tinggi konsentrasi serbuk kulit jeruk lemon yang ditambahkan dalam formulasi *jelly* menunjukkan penurunan derajat kecerahan dan kekenyalannya, serta mengalami peningkatan kandungan vitamin C. Penambahan serbuk kulit jeruk lemon sebesar 2% merupakan perlakuan terbaik berdasarkan kekenyalan, kecerahan, serta sifat dan mutu organoleptik, sedangkan konsentrasi 8% merupakan perlakuan terbaik untuk kandungan vitamin C⁵².

4.7 Minyak soybean

Ekstrak biji *Citrus limon* dapat berperan sebagai antioksidan alami dalam produk minyak *soybean*. Senyawa antioksidan dari ekstrak biji *C. limon* dapat berperan dalam penundaan atau pencegahan oksidasi lipid pada penyebab utama kerusakan dalam proses pemanasan minyak nabati (*soybean*). Ekstrak biji lemon pelarut metanol

koncentrasi 2.400 mg/kg menunjukkan efek stabilitas oksidatif terbesar pada minyak *soybean*. Aktivitas antioksidan yang diperoleh sebesar 70,58%, sehingga dapat berperan sebagai antioksidan alami pada minyak *soybean* untuk melawan oksidasi lipid dengan induksi selama 16,48 jam⁵³.

Kemampuan senyawa polifenol berupa flavonoid dan asam fenolik dari produk samping pengolahan jeruk dapat dimanfaatkan sebagai sumber antioksidan pada produk pangan. Pada Tabel 4. menunjukkan aplikasi dari kulit dan biji *Citrus* dalam bentuk ekstrak, minyak atsiri dan tepung yang diaplikasikan produk pangan. Adanya senyawa antioksidan serta antimikrobia dari ekstrak kulit *Citrus* dapat menghambat pertumbuhan mikrobia yang merusak kualitas pangan⁴⁹, minyak atsiri dari kulit dan biji *Citrus* dapat diaplikasikan untuk mencegah peroksidasi lipid⁵³, dan kulit kering *Citrus* dapat dijadikan tepung dalam pembuatan biskuit yang memiliki nilai fungsional berupa aktivitas antioksidan⁵⁰.

Tabel 4. Aplikasi dalam Produk Pangan dengan Penambahan Produk Samping Olahan Jeruk

Produk	Penambahan	Aplikasi	Referensi	
Sop Barley	Minyak atsiri kulit <i>C. limon</i> konsentrasi 10% dan 20%	Penghambatan pertumbuhan <i>S. aureus</i> selama 15 hari penyimpanan.	Kontrol: hari ke-15 masih terdapat koloni <i>S. aureus</i> (6 log CFU/ml) Perlakuan: hari ke-12 pertumbuhan koloni terhambat (0 log CFU/ml)	Moosavy et al., 2017.
Paneer	Ekstrak kulit lemon konsentrasi 2%	Mencegah peroksidasi lipid dan melindungi dari oksidatif kerusakan selama 8 hari.	Kontrol: bilangan peroksidasi hari ke-8 sebesar 2,56 Perlakuan: bilangan peroksidasi hari ke-8 sebesar 1,47	Genitha Immanuel, 2014.
Bakso daging	Ekstrak kulit jeruk manis (<i>Citrus sinensis</i>) konsentrasi 500 mg/mL	Menghambat mikroba hingga hari ke-4 pada suhu ruang.	Kontrol: 2 log CFU/g Perlakuan: 1,5 log CFU/g	Deasy Rosita Dewi, 2019.
Biskuit	Tepung kulit <i>Citrus reticulata</i> (tangerine) konsentrasi 10%	Aktivitas antioksidan Akseptibilitas sensori	Kontrol (Tepung gandum): 74,15% Tepung kulit tangerine: 82,07% Kontrol (Tepung gandum): 83,3% Tepung kulit tangerine: 93,3%	Sande, 2018.
Selai jeruk	Ekstrak kulit <i>Citrus sinensis</i> konsentrasi 8%	Total fenolik (mg GAE 100/g) Akseptibilitas sensori	Kontrol: 7,08 Perlakuan: 11,81 Kontrol: 7,96% Perlakuan: 7,78%	Teixeira et al., 2020.
Permen Jelly	Bubuk kulit jeruk lemon konsentrasi 8%	Vitamin C (mg/100 g) Akseptibilitas sensori	Kontrol: 8,8 Perlakuan: 35,2 Kontrol: 3,92% Perlakuan: 2,04%	Elok Nianti et al., 2017.



Produk	Penambahan		Aplikasi	Referensi
Minyak soybean	Ekstrak biji <i>Citrus limon</i> konsentrasi 2.400 mg/kg	Stabilitas oksidatif	Kontrol: 10,52 jam Perlakuan: 16,48 jam	Maria Moreno LUZIA & Jorge, 2010.

KESIMPULAN

Produk samping pengolahan buah jeruk berupa kulit dan biji dapat menjadi sumber antioksidan alami. Produk samping berupa kulit jeruk memiliki senyawa polifenol lebih tinggi dan berpengaruh terhadap besarnya kemampuan aktivitas antioksidan. Preparasi bahan awal sampel kulit jeruk dengan metode *freeze-drying* serta penghalusan menjadi bentuk bubuk mampu menghasilkan senyawa polifenol optimal saat diekstraksi. Metode ekstraksi non-konvensional berupa *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE), mampu menghasilkan aktivitas antioksidan yang tinggi, dengan kemampuan mengekstrak senyawa polifenol jenis antioksidan lipofilik dan hidrofilik. Pengaplikasian senyawa antioksidan alami dari produk samping pengolahan jeruk menjadi peluang besar bidang industri pangan dan farmasi untuk menggantikan antioksidan sintesis. Penambahan ekstrak ataupun minyak atsiri produk samping pengolahan jeruk (kulit dan biji) pada produk pangan seperti, sop barley, paneer, biskuit, permen *jelly*, dan selai jeruk mampu meningkatkan kadar antioksidan serta memperpanjang masa simpan produk dalam kemampuannya sebagai antibakteri. Konsentrasi penambahan ekstrak kulit jeruk pada produk pangan perlu disesuaikan untuk mendapatkan penampakan sensori dan mutu organoleptik yang terbaik.

ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terimakasih kepada dosen Fakultas Teknobiologi di Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas masukan serta saran dalam penyusunan dan penyelesaian penulisan *literature review* ini

REFERENSI

- Lü, J. M., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. Chemical and Molecular Mechanisms of Antioxidants: Experimental Approaches and Model Systems. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*. **14**, 840–860 (2010).
- Roghini, R., & Vijayalakshmi, K. Free Radical Scavenging Activity of Ethanolic Extract of *Citrus paradisi* and Naringin-An In vitro Study. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*. **10**, 11–16 (2018).
- J Mbah, C., Orabueze, I., & H Okorie, N. Antioxidants Properties of Natural and Synthetic Chemical Compounds: Therapeutic Effects on Biological System. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*. **3**, 28–42 (2019).
- Campone, L., Celano, R., Rizzo, S., Piccinelli, A. L., Rastrelli, L., & Russo, M. Development of an Enriched Polyphenol (Natural Antioxidant)

Extract from Orange Juice (*Citrus sinensis*) by Adsorption on Macroporous Resins. *Journal of Food Quality*. **2020**, (2020).

- Muthukumarasamy, R., Kamaruddin, A. F., & Radhakrishnan, S. Comparative evaluation of different extraction methods for antioxidant activity from *Citrus hystrix* peels. *Drug Invention Today*. **10**, 1458–1462 (2018).
- Jorge, N., da Silva, A. C., & Aranha, C. P. M. Antioxidant Activity of Oils Extracted from Orange (*Citrus sinensis*) Seeds. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*. **88**, 951–958 (2016). <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140562>
- Silva, A. C., & Jorge, N. Bioactive Properties and Antioxidant Capacity of Oils Extracted from Citrus Fruit Seeds. *Acta Alimentaria*. **48**, 196–203 (2019).
- Kamal, G. M., Anwar, F., Hussain, A. I., Sarri, N., dan Ashraf, M. Y. Yield and Chemical Composition of *Citrus* Essential Oils as Affected by Drying Pretreatment of Peels. *International Food Research Journal*. **18**, 1275-1282 (2011).
- Zeghad, N., Ahmed, E., Belkhir, A., Heyden, Y. vander, & Demeyer, K. Antioxidant activity of *Vitis vinifera*, *Punica granatum*, *Citrus aurantium* and *Opuntia ficus indica* Fruits Cultivated in Algeria. *Algeria. Heliyon*. **5**, 1575 (2019).
- Reddy, B. A., Vishnu Priya, V., & Gayathri, R. Comparative Phytochemical Analysis and Total Phenolic Content of Citrus Seed Extract (*Citrus sinensis* and *Citrus limon*). In *Drug Invention Today*. **10**, (2018).
- Chen, X. M., Tait, A. R., & Kitts, D. D. Flavonoid Composition of Orange Peel and Its Association with Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities. *Food Chemistry*. **218**, 15–21 (2017).
- de Moraes Barros, H. R., de Castro Ferreira, T. A. P., & Genovese, M. I. Antioxidant Capacity and Mineral Content of Pulp and Peel from Commercial Cultivars of Citrus from Brazil. *Food Chemistry*. **134**, 1892–1898 (2012).
- Barbosa, P. de P. M., Ruviano, A. R., & Macedo, G. A. Comparison of Different Brazilian Citrus By-Products as Source of Natural Antioxidants. *Food Science and Biotechnology*. **27**, 1301–1309 (2018).
- Kim, J. H., & Kim, M. Y. The Potential Use of Citrus Juice Waste as Sources of Natural Phenolic Antioxidants. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. **6**, 202–205 (2016).
- Castro-Vazquez, L., Alañón, M. E., Rodríguez-Robledo, V., Pérez-Coello, M. S., Hermosín-Gutierrez, I., Díaz-Maroto, M. C., Jordán, J., Galindo, M. F., & Arroyo-Jiménez, M. D. M.



- Bioactive Flavonoids, Antioxidant Behaviour, and Cytoprotective Effects of Dried Grapefruit Peels (*Citrus paradisi* Macf.). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. **2016**, (2016).
16. Nandan, M. P., & Meena, V. Extraction, Modelling and Purification of Flavonoids from *Citrus Medica* Peel. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. **3**, 588–591 (2015).
 17. Xi, W., Lu, J., Qun, J., & Jiao, B. Characterization of Phenolic Profile and Antioxidant Capacity of Different Fruit Part from Lemon (*Citrus limon* Burm.) cultivars. *Journal of Food Science and Technology*. **54**, 1108–1118 (2017).
 18. Wang, Y. C., Chuang, Y. C., & Hsu, H. W. The Flavonoid, Carotenoid and Pectin Content in Peels of Citrus Cultivated in Taiwan. *Food Chemistry*. **106**, 277–284 (2008).
 19. Mahato, N., Sharma, K., Koteswararao, R., Sinha, M., Baral, E. R., & Cho, M. H. Citrus Essential Oils: Extraction, Authentication and Application in Food Preservation. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. **59**, 611–625 (2019).
 20. Fisher, K., and C. Phillips. Potential Antimicrobial Uses of Essential Oils in Food: Is Citrus the Answer? *Trends in Food Science and Technology*. **19**, 156–64 (2008).
 21. Moosavy, M. H., Hassanzadeh, P., Mohammadzadeh, E., Mahmoudi, R., Khatibi, S. A., & Mardani, K. Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oil of Lemon (*Citrus Limon*) Peel In Vitro and in a Food Model. *Journal of Food Quality and Hazards Control*. **4**, 42–48 (2017).
 22. Mustafa, N. E. M. Citrus Essential Oils: Current and Prospective Uses in the Food Industry. *In Nutrition & Agriculture*. **7**, (2015).
 23. Malacrida, C. R., Kimura, M., & Jorge, N. Phytochemicals and Antioxidant Activity of Citrus Seed Oils. *Food Science and Technology Research*. **18**, 399–404 (2012).
 24. Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Katrich, E., Pawelzik, E., Haruenkit, R., Trakhtenberg, S., & Martin-Belloso, O. Comparison of the Contents of the Main Antioxidant Compounds and the Antioxidant Activity of White Grapefruit and His New Hybrid. *LWT - Food Science and Technology*. **37**, 337–343 (2004).
 25. Yin, J., Becker, E. M., Andersen, M. L., & Skibsted, L. H. Green Tea Extract as Food Antioxidant. Synergism and Antagonism With A-Tocopherol in Vegetable Oils and Their Colloidal Systems. *Food Chemistry*. **135**, 2195–2202 (2012).
 26. Sir Elkhatim, K. A., Elagib, R. A. A., & Hassan, A. B. Content of Phenolic Compounds and Vitamin C and Antioxidant Activity in Wasted Parts of Sudanese Citrus Fruits. *Food Science and Nutrition*. **6**, 1214–1219 (2018).
 27. Liew, S. S., Ho, W. Y., Yeap, S. K., & bin Sharifudin, S. A. Phytochemical Composition and In Vitro Antioxidant Activities of *Citrus Sinensis* Peel Extracts. *PeerJ*. **2018**, 1–16 (2018).
 28. Azman, N. F. I. N., Azlan, A., Khoo, H. E., & Razman, M. R. Antioxidant Properties of Fresh and Frozen Peels of Citrus Species. *Current Research in Nutrition and Food Science*. **7**, 331–339 (2019).
 29. Gormat, N. B., Belarbi, M., Mami, Z., & Djaziri, F. Z. Physico-Chemical Characteristics and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds And Oil of *Citrus Aurantium* Seeds from Northwest Algeria. *Intentional Journal of Phytomedicine*. **7**, 370 – 378 (2015).
 30. Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., & Aruoma, O. I. Bioactive Phenolics and Antioxidant Propensity of Flavedo Extracts of Mauritian Citrus Fruits: Potential Prophylactic Ingredients for Functional Foods Application. *Toxicology*. **278**, 75–87 (2010).
 31. M'hiri, N., Irina, I., Cédric, P., Ghoul, M., & Boudhrioua, N. Antioxidants of Maltese Orange Peel: Comparative Investigation of the Efficiency of Four Extraction Methods. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. **7**, 126–135 (2017).
 32. Andrade, J. M. de M., de Jong, E. V., & Henriques, A. T. Byproducts of Orange Extraction: Influence of Different Treatments in Fiber Composition and Physical And Chemical Parameters. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. **50**, 473–482 (2014).
 33. Oshadie, G., Silva, D., Abesundara, A. T., Minoli, M., & Aponso, W. Extraction Methods, Qualitative and Quantitative Techniques for Screening of Phytochemicals from Plants. ~ 29 ~ *American Journal of Essential Oils and Natural Products*. **5**, 29–32 (2017).
 34. John, S., & Monica, S. J. *Research Article Antioxidant and Antimicrobial Efficacy of Lemon (*Citrus limonum* L.) Peel*. **46**, 115–118 (2017).
 35. Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. Techniques for Extraction of Bioactive Compounds from Plant Materials: A Review. *Journal of Food Engineering*. **117**, 426–436 (2013).
 36. Lou, S. N., Lai, Y. C., Hsu, Y. S., & Ho, C. T. Phenolic Content, Antioxidant Activity and Effective Compounds of Kumquat Extracted by Different Solvents. *Food Chemistry*. **197**, 1–6 (2016).
 37. Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., & Chemat, F. Comparison of Different Isolation Methods of Essential Oil From Citrus Fruits: Cold Pressing, Hydrodistillation and Microwave “Dry” Distillation. *J*. **22**, 494–504 (2007).
 38. Londoño-Londoño, J., Lima, V. R. de, Lara, O., Gil, A., Pasa, T. B. C., Arango, G. J., & Pineda, J. R. R. Clean Recovery of Antioxidant Flavonoids from Citrus Peel: Optimizing an Aqueous Ultrasound-Assisted Extraction Method. *Food Chemistry*. **119**, 81–87 (2010).
 39. Safdar, M. N., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Sadozai, A. A. Extraction and Quantification of Polyphenols From Kinnow (*Citrus reticulata* L.) Peel Using Ultrasound and



- Maceration Techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*. **25**, 488–500 (2017).
40. Hayat, K., Hussain, S., Abbas, S., Farooq, U., Ding, B., Xia, S., Jia, C., Zhang, X., & Xia, W. Optimized Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Acids from *Citrus Mandarin* Peels and Evaluation of Antioxidant Activity In Vitro. Separation and Purification Technology. **70**, 63–70 (2009).
 41. Hayouni, E. A., Abedrabba, M., Bouix, M., Hamdi, M. The Effects of Solvents and Extraction Method on the Phenolic Contents and Biological Activities In Vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. Fruit Extracts. *Food Chem.* **105**, 1126-1134 (2007).
 42. Wu, X. Beecher, G. R., Holden, J. M., Haytowitz, D. B., Gebhardt, S. E. & Prior, R. L. Lipophilic and Hydrophilic Antioxidant Capacities of Common Foods in The United States. *J. Agric. Food Chem.* **52**, 4026–4037 (2004).
 43. Craft, B. D., Kerrihard, A. L., Amarowicz, R., & Pegg, R. B. Phenol-Based Antioxidants and the In Vitro Methods Used for Their Assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. **11**, 148–173 (2012).
 44. Dawidowicz, A. L., & Olszowy, M. The Importance of Solvent Type in Estimating Antioxidant Properties of Phenolic Compounds by ABTS Assay. *European Food Research and Technology*. **236**, 1099–1105 (2013).
 45. ZHANG, H., YANG, Y. fei, & ZHOU, Z. qin. Phenolic and Flavonoid Contents of Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) Fruit Tissues and Their Antioxidant Capacity as Evaluated by DPPH and ABTS Methods. *Journal of Integrative Agriculture*. **17**, 256–263 (2018).
 46. Namani, J., Baqir, E., al Abri, A., al Hubaishi, T., Husain, A., & Khan, A. Phytochemical Screening, Phenolic Content and Antioxidant Activity of *Citrus aurantifolia* L. Leaves Grown in Two Regions of Oman. In *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences*. **2018**, (2018).
 47. Fattahi, J., Hamidoghli, Y., Fotouhi, R., Ghasemnejad, M., & Bakhshi, D. Assessment of fruit Quality and Antioxidant Activity of Three Citrus Species During Ripening. *South Western Journal*. **2**, 113–128 (2011).
 48. Genitha Immanuel, S. S. Extraction of Antioxidants from Fruit Peels and its Utilization in Paneer. *Journal of Food Processing & Technology*. **5**, (2014).
 49. Deasy Rosita Dewi, A. Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri Ekstrak Kulit Jeruk Manis (*Citrus sinensis*) dan Aplikasinya Sebagai Pengawet Pangan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*. **30**, 83–90 (2019).
 50. Sande, D. Tangerine: Converting Residues into Antioxidant Food, Rich in Fiber and with Sensorial Acceptance. *Nutrition & Food Science International Journal* **5**, 1–6 (2018).
 51. Teixeira, F., dos Santos, B. A., Nunes, G., Soares, J. M., do Amaral, L. A., de Souza, G. H. O., de Resende, J. T. V., Menegassi, B., Rafacho, B. P. M., Schwarz, K., dos Santos, E. F., & Novello, D. Addition of Orange Peel in Orange Jam: Evaluation of Sensory, Physicochemical, and Nutritional Characteristics. *Molecules*. **25**, (2020).
 52. Elok Nianti, E., Dwiloka, B., & Etza Setiani, B. Pengaruh Derajat Kecerahan, Kekenyalan, Vitamin C, dan Sifat Organoleptik pada Permen Jelly Kulit Jeruk Lemon (*Citrus medica* var Lemon). In *Jurnal Teknologi Pangan*. **2**, 64-69 (2017).
 53. Maria Moreno LUZIA, D., & Jorge, N. Antioxidant Potential of Lemon Seed Extracts (*Citrus limon*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. **30**, 489-493 (2010)

