



## MODEL MATEMATIKA EKSTRAKSI MINYAK KOPI DARI LIMBAH AMPAS KOPI BERDASARKAN PERBEDAAN TEMPERATUR BERBASIS GELOMBANG ULTRASONIK

### *Mathematical Model of Coffee Oil Extraction from Coffee Grounds Waste Based on Temperature Variation Based on Ultrasonic Waves*

Mega Mustikaningrum<sup>1\*</sup>, Rara Ayu Lestary<sup>2</sup>, Nita Widyastuti<sup>2</sup>, Fikrah Dian Indrawati Sawali<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Gresik, Jl. Sumatera, Kec. Kebomas, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61121

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Universitas Jambi, Jl. Jambi – Muara Bulian No.KM. 15, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi, 36361

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali, Jl. Trans Sulawesi, Labota. Kec. Bahodopi, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah, 94974

\*Corresponding Author: [megamustikaningrum@umg.ac.id](mailto:megamustikaningrum@umg.ac.id)

Received: 27<sup>th</sup> October 2024; Revised: 9<sup>th</sup> January 2025; Accepted: 15<sup>th</sup> January 2025

#### ABSTRAK

Dalam dekade terakhir, produktivitas kopi, terutama produksi kopi instan, mengalami peningkatan yang signifikan. Peningkatan ini menghasilkan lebih banyak ampas kopi sebagai produk sampingan, yang kini dimanfaatkan secara luas dalam sektor kosmetik dan energi, terutama untuk menghasilkan minyak kopi. Optimasi metode isolasi minyak kopi terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi. Studi ini bertujuan mendapatkan nilai optimal dari parameter difusivitas ( $D_a$ ) minyak kopi dan konstanta kecepatan ekstraksi ( $k$ ). Ekstraksi ampas kopi dilakukan menggunakan pelarut n-Heksana dengan bantuan gelombang ultrasonik melalui sonikator jenis *bath*. Penelitian dilaksanakan dengan variasi suhu (30°C dan 40°C) dan waktu ekstraksi (30; 60; 90; dan 120 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai difusivitas minyak kopi pada suhu masing-masing 30°C dan 40°C yaitu  $9,93 \times 10^{-10}$  dan  $9,99 \times 10^{-10}$  dm<sup>2</sup>/s. Nilai konstanta kecepatan ekstraksi pada masing-masing suhu didapatkan sebesar 0,450 dan 0,667 dm/s.

**Kata kunci:** Ekstraksi Ultrasonik, Difusivitas, Konstanta Kecepatan Ekstraksi

#### ABSTRACT

*In the past decade, coffee productivity, particularly instant coffee production, has experienced significant growth. This increase has generated more coffee grounds as a by-product, which is now widely utilized in the cosmetics and energy sectors, especially for producing coffee oil. Optimization of coffee oil isolation methods continues to be developed to improve efficiency. This study aims to obtain optimal values for the coffee oil diffusivity parameter ( $D_a$ ) and extraction rate constant ( $k$ ). Coffee grounds extraction was performed using Hexane solvent with the aid of ultrasonic waves through a bath-type sonicator. The research was conducted with variations in temperature (30°C and 40°C) and extraction time (30, 60, 90, and 120 minutes). The research results showed that the coffee oil diffusivity values at temperatures of 30°C and 40°C were  $9.93 \times 10^{-10}$  and  $9.99 \times 10^{-10}$  dm<sup>2</sup>/s, respectively. The extraction rate constants obtained at each temperature were 0.450 and 0.667 dm/s.*

**Keywords:** Ultrasonic Extraction, Diffusivity, Extraction Rate Constant

Copyright © 2025 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

*How to cite:* Mega Mustikaningrum, Rara Ayu Lestary, Nita Widyastuti, & Fikrah Dian Indrawati Sawali. Model Matematika Ekstraksi Coffee Oil Dari Limbah Ampas Kopi Berdasarkan Perbedaan Temperatur. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 9(1).

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v9i1.44507



## PENDAHULUAN

Kopi adalah salah satu komoditas populer dan banyak dikonsumsi sebagai minuman di seluruh dunia (Giroto, Pivato, Cossu, Nkeng, & Lavagnolo, 2017). Selama satu dekade terakhir, konsumsi kopi secara global meningkat dengan rata-rata 1% per tahun, dengan pencapaian perkiraan produksi diatas 10,53 megaton pada 2020/2021 (ICO, 2021); (Service & Agriculture, 2021).

Pada keseluruhan tahapan produksi kopi, terdapat sejumlah besar limbah padat yang harus dikelola atau dibuang dengan baik. Jenis limbah kopi meliputi sekam kopi, ampas dari proses basah, residu pasca-pemanggangan (*roasting*) seperti kulit kopi, serta ampas kopi yang dihasilkan dari penyeduhan (Campos-Vega, Loarca-Pina, Vergara-Castaneda, & Oomah, 2015). Ampas kopi merupakan limbah terbesar yang dihasilkan diantara berbagai jenis limbah dari produksi kopi, dari produksi 1 ton biji kopi hijau menghasilkan 650 kg ampas kopi (Mataa, Martins, & Caetano, 2017), dan dari 1 kopi instan menghasilkan 2 kilogram ampas kopi basah (Stylianou, et al., 2018). Sekitar 50% ampas kopi dihasilkan oleh industri kopi instan dan jumlah tahunan ampas kopi berkisar enam juta ton (Mataa, Martins, & Caetano, 2017).

Berbagai penelitian telah memanfaatkan ampas kopi untuk diolah menjadi produk dengan nilai ekonomi lebih tinggi. Salah satu pemanfaatannya adalah ekstraksi lipid (minyak kopi) dari ampas kopi yang dimanfaatkan sebagai bahan kosmetik (Ribeiro, et al., 330-337), pemanfaatan menjadi polimer dan resin termostat (Saratalea, et al., 2020), produksi biodiesel (S.Caetano, Silva, Melo, Martins, & Mata) dan hidrolisis biomassa yang tersisa untuk menghasilkan bioetanol (Mussatto, Machado, Carneiro, & Teixeira, 2012).

Ekstraksi minyak kopi pada penelitian ini dilakukan dengan metode berbasis ultrasonik. Teknik ekstraksi dengan energi ultrasonik memiliki berbagai keuntungan, seperti kinetika yang lebih cepat, efisiensi energi yang lebih tinggi, serta kualitas hasil

ekstrak yang lebih baik (Chemat, et al., 2017). Metode ekstraksi berbasis ultrasonik juga dapat meningkatkan efisiensi dan laju ekstraksi dibandingkan dengan metode konvensional seperti metode Soxhlet (Vilkhu, Mawson, Simons, & Bates, 2008).

Secara umum prinsip kerja dari metode ultrasonik ini adalah adanya fenomena kavitasi gelembung, yang proses pembentukan, pertumbuhan dan ledakan gelembung mikro pada media cair (Tiwari, 2015). Pecahnya gelembung tersebut dapat menimbulkan efek fisik, yaitu turbulensi mikro, tumbukan antar partikel berkecepatan tinggi, dan gangguan pada partikel berpori mikro pada matriks padat yang menyebabkan percepatan difusi suatu material (Shirsatha, Sonawanea, & Gogate, 2012). Penggunaan energi ultrasonik diharapkan dapat meningkatkan efektivitas perpindahan massa antara pelarut dan substrat, serta menyebabkan gangguan fisik pada dinding sel akibat pembentukan rongga mikro.

Berdasarkan pemaparan diatas, tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai parameter difusifitas ( $D_a$ ) minyak kopi dan konstanta kecepatan ekstraksi ( $k$ ) yang paling optimum, untuk selanjutnya dijadikan dasar dalam studi fundamental untuk optimalisasi proses ekstraksi minyak kopi. selain itu, dapat menjadi acuan dalam perancangan proses yang lebih efisien sehingga menekan biaya produksi dan menghasilkan kualitas produk terbaik dengan mengetahui kedua parameter tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### BAHAN

Bahan baku yang digunakan adalah campuran dari Ampas kopi robusta dan arabika sebanyak 10 gram dengan ukuran partikelnya adalah 30 mesh, dan pelarut yang digunakan adalah N-Heksana 70%.

### METODE PENELITIAN

Ampas kopi dimasukan pada botol sampel kaca yang berisi 200 mL pelarut N-Heksana. Ekstraksi dilakukan pada sonikator tipe *bath* dengan suhu 30 dan 40°C . Untuk



pengambilan data kinetika ekstraksi dilakukan selama 30; 60; 90; dan 120 menit.

**PENGAJUAN MODEL MATEMATIKA**

Model kinetika yang diajukan didasarkan pada beberapa asumsi, yaitu: partikel dari ampas kopi berbentuk *spherical* dengan keseragaman porositas, gradien kearah radial yang dipertimbangkan, tidak mempertimbangkan pengaruh suhu dan tidak ada efek pembesaran tangan partikel (*swelling*), dan porositas partikel dianggap tetap sepanjang waktu (Corrochano, Melrose, Bentley, Fryer, & Bakalis, 2015).

Persamaan matematika yang digunakan untuk menentukan parameter difusivitas ( $D_a$ ) dan konstanta kecepatan ekstraksi ( $k$ ) didasarkan pada neraca massa dan hukum fick. Model matematika yang diajukan dapat dilihat pada persamaan (1) – (5) :

Neraca massa di cairan dapat dimodelkan pada persamaan (1), yang dapat dilihat pada persamaan dibawah ini

$$-D_a \cdot S \cdot \frac{\partial D_a}{\partial r} \Big|_r - \left( -D_a \cdot S \cdot \frac{\partial D_a}{\partial r} \Big|_{r+\Delta r} + \frac{k S m}{V} (C_a - C_a^*) \right) = \frac{dC_a}{dt}$$

$$-D_a \cdot (4 \pi r^2) \cdot \frac{\partial D_a}{\partial r} \Big|_r - \left( -D_a \cdot (4 \pi (r + \Delta r)^2) \cdot \frac{\partial D_a}{\partial r} \Big|_{r+\Delta r} + \frac{k (4 \pi r^2) m}{V} (C_a - C_a^*) \right) = \frac{dC_a}{dt} \quad (2)$$

Bentuk penyelesaian persamaan (2) secara matematis dapat dilihat pada persamaan (3) :

$$\frac{dC_a}{dt} = D_a \frac{\partial^2 C_a}{\partial r^2} - D_a \frac{2}{r} \frac{\partial C_a}{\partial r} - \frac{k m r^2}{V} (C_a - C_a^*) \quad (3)$$

Model laju alir massa minyak kopi pada cairan dituliskan pada persamaan (4) dan matriks padatan dituliskan pada persamaan (5):

$$\frac{dC_a}{dt} = D_a \frac{\partial^2 C_a}{\partial r^2} - D_a \frac{2}{r} \frac{\partial C_a}{\partial r} - \frac{k m r^2}{V} (C_a - C_a^*) \quad (4)$$

$$\frac{dX_a}{dt} = D_a \frac{\partial^2 X_a}{\partial r^2} - D_a \frac{2}{r} \frac{\partial X_a}{\partial r} + k (r^2) (C_a - C_a^*)$$

$C_a^*$  adalah besaran minyak di lapisan film sehingga sulit diketahui, sehingga penyelesaian dari persamaan diatas dibantu menggunakan model partisi (6) :

$$X_a = K_p C_a^* \quad (6)$$

Berikut adalah definisi dari parameter – parameter yang digunakan:

- $k$  : Konstanta kecepatan ekstraksi (dm/sekon)
- $m$  : Massa ampas kopi (gram)
- $V$  : Volume pelarut (dm<sup>3</sup>)
- $C_a$  : Konsentrasi minyak kopi di cairan (mol/dm<sup>3</sup>)
- $X_a$  : Konsentrasi zat ekstraktif di padatan (mol/dm<sup>3</sup>)
- $K_p$  : Konstanta kesetimbangan ekstraksi (koefisien partisi)
- $\frac{dC_A}{dt}$  : Distribusi konsentrasi minyak kopi setiap waktu pada cairan (mol/s)
- $\frac{dX_A}{dt}$  : Distribusi minyak kopi pada padatan kopi setiap waktu (mol/s)
- $r$  : Jari - jari (dm)
- $D_A$  : Difusifitas minyak kopi pada pelarut (dm<sup>2</sup>/sekon).

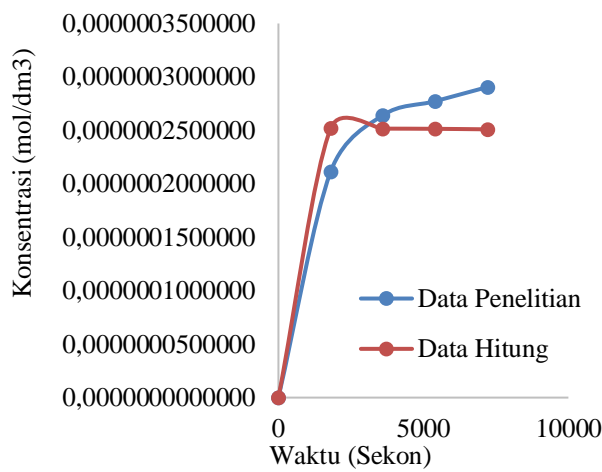
**Tabel 1.** Nilai Parameter Tambahan

Parameter	Notasi	Unit	Nilai
Jari – Jari	r	dm	0,00595
Luas Permukaan ampas kopi	a	dm <sup>2</sup> /gram	405,68
Jumlah titik iterasi	Nr		300
Volume Pelarut	V	dm <sup>3</sup>	0.2
Massa	m	gram	10
Konsentrasi minyak kopi mula-mula	Xao	mol/dm <sup>3</sup>	0.00000048



**HASIL DAN PEMBAHASAN**

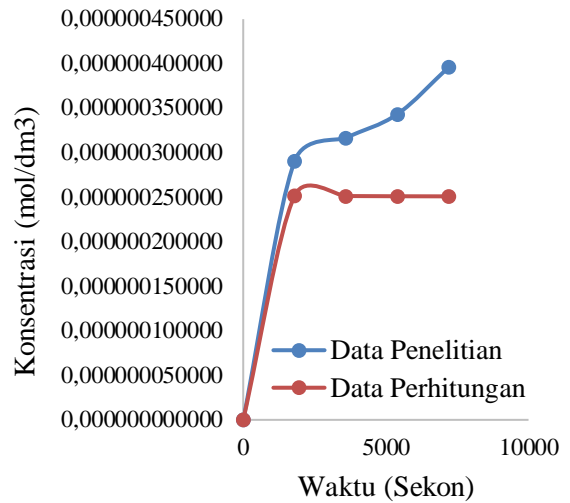
Penyelesaian model matematika dilakukan menggunakan program MATLAB 2013b, dengan metode minimasi yang melibatkan fungsi *ode15s* untuk menyelesaikan persamaan integrasi, serta *lsqnonlin* untuk mencari nilai parameter melalui metode *fitting* antara data penelitian dan kalkulasi. Data yang ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan perbandingan antara hasil yang diperoleh dari pengujian laboratorium dan hasil perhitungan menggunakan model matematika.



**Gambar 1.** Perbandingan Data Penelitian dan Data Kalkulasi pada Suhu 30°C

Gambar 1 dan Gambar 2 merupakan grafik hubungan konsentrasi minyak kopi sebagai fungsi waktu. Berdasarkan Gambar tersebut, terlihat data penelitian mendekati data hasil hitung menggunakan model matematika.

Pada Gambar 1 dan 2, terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara data penelitian dan hasil kalkulasi menggunakan model matematika. Pada suhu 30°C, hasil perhitungan penelitian menunjukkan konsentrasi akhir sebesar  $2,904 \times 10^{-6}$  mol/dm<sup>3</sup> setelah 7200 detik (120 menit), sementara hasil kalkulasi menghasilkan nilai  $2,5097 \times 10^{-7}$  mol/dm<sup>3</sup>. Sedangkan pada suhu 40°C, data penelitian menunjukkan nilai konsentrasi akhir sebesar  $3,960 \times 10^{-6}$  mol/dm<sup>3</sup>, dan hasil kalkulasi sebesar  $2,522 \times 10^{-7}$  mol/dm<sup>3</sup>.



**Gambar 2.** Perbandingan Data Penelitian dan Data Kalkulasi pada Suhu 40°C

Kandungan minyak kopi yang diperoleh dalam penelitian ini cukup tinggi, sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa hingga 98% minyak kopi dapat diekstraksi menggunakan metode ultrasonik dalam waktu operasi 30 menit. Hal ini menunjukkan efisiensi metode ultrasonik dalam ekstraksi minyak, yang juga dapat mengurangi kebutuhan penggunaan pelarut n-heksana dalam proses ekstraksi. Efek gelombang ultrasonik pada ekstraksi minyak melibatkan kavitasi ultrasonik, yang membantu penetrasi pelarut ke dalam ampas kopi. Kavitasi yang terjadi di dekat permukaan partikel menciptakan ledakan mikro, yang meningkatkan penetrasi pelarut dan memfasilitasi pelepasan minyak intraseluler. Kavitasi ini juga menetrasi pelarut ke dalam sel dan mendorong pelepasan komponen yang diinginkan (Kentish & Ashokkumar, 2011). Nilai dari perpindahan massa minyak kopi (difusivitas) disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Kalkulasi Parameter Ekstraksi Minyak Kopi

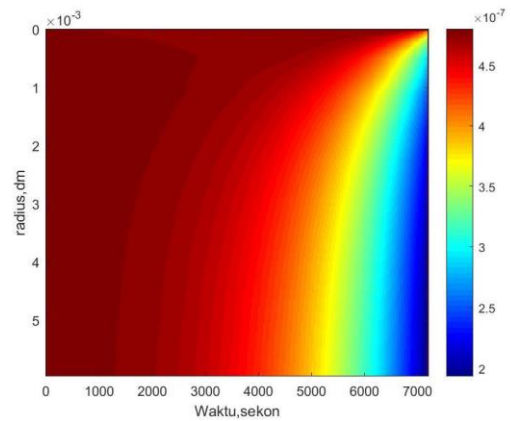
Suhu	Da (dm <sup>2</sup> /s)	k (dm/s)	Kp	SSE
30°C	$9,93 \times 10^{-10}$	0,450	1,9	$2,733 \times 10^{-13}$
40°C	$9,99 \times 10^{-10}$	0,667	1,9	$6,824 \times 10^{-13}$

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa nilai difusivitas pada suhu 40°C lebih besar dibandingkan dengan nilai difusivitas pada suhu 30°C. Selain itu, nilai SSE yang mendekati nol menunjukkan bahwa model

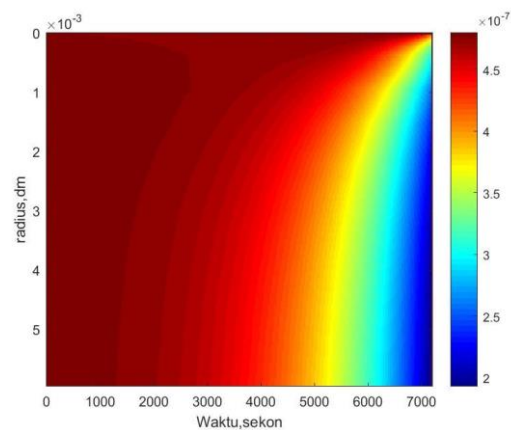


yang diajukan cukup valid dalam menggambarkan fenomena ekstraksi minyak kopi. Ketika dibandingkan dengan metode ekstraksi menggunakan Metode soxhletasi pelarut, nilai difusivitas yang diperoleh hampir sama pada masing-masing suhu 30 dan 40°C yaitu sebesar  $6,2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  dan  $6,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , dan nilai dari kontanta partisi (Kp) didapatkan 0,90 dan 0,88 (Dibert & Cros, 1989). Jika dibandingkan dengan ekstrasi metode gelombang ultrasonik pada penelitian ini menghasilkan nilai difusivitas yang lebih tinggi, mencapai  $9,93 \times 10^{-10} \text{ dm}^2/\text{s}$  pada suhu 30°C dan  $9,99 \times 10^{-10} \text{ dm}^2/\text{s}$  pada suhu 40°C. Data ini mengindikasikan bahwa penggunaan gelombang ultrasonik dapat meningkatkan laju difusi minyak dari ampas kopi dibandingkan dengan metode soxhletasi konvensional.

Variasi suhu berperan penting dalam meningkatkan kelarutan minyak pada pelarut N-Heksana. Kenaikan suhu dalam hal ini meningkatkan nilai ambang saturasi, yang menyebabkan peningkatan gradien konsentrasi minyak yang terlarut. Akibatnya, kenaikan suhu juga secara simultan meningkatkan nilai koefisien difusivitas, memungkinkan perpindahan massa yang lebih cepat selama proses ekstraksi. Pada penelitian lain menunjukkan bahwa menaikkan suhu dari 69 menjadi 105°C dapat meningkatkan ekstraksi minyak sebesar 35 % (Mingos & Baghurst, 1991). Pada suhu yang lebih tinggi, pelarut heksana memiliki molekul dengan energi kinetik lebih tinggi. lebih berenergi, yang mampu menembus matriks padatan dengan lebih cepat melalui pemecahan ikatan antar molekul dengan resistansi yang relatif lebih kecil (Dai, 2006). Distribusi minyak kopi pada matriks padatan ampas kopi berdasarkan model matematika yang diajukan disajikan pada Gambar 3 dan 4.

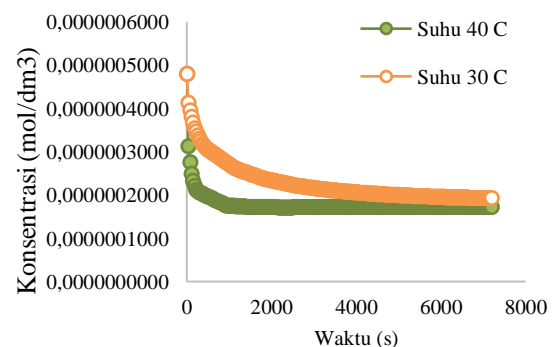


Gambar 3. Distribusi minyak kopi pada padatan 30°C



Gambar 4. Distribusi minyak kopi pada padatan 40°C

Gambar 5 menunjukkan penurunan kandungan minyak kopi pada padatan ampas kopi pada suhu 30 dan 40°C. Berdasarkan hasil perhitungan, konsentrasi akhir minyak kopi pada padatan ampas kopi yang diperoleh dari simulasi adalah sebesar  $1,930 \times 10^{-7}$  dan  $1,7233 \times 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$ .



Gambar 5. Distribusi minyak kopi pada padatan



## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian menggunakan dengan metode ultrasonik pada suhu 30 dan 40°C, dengan bahan baku ampas kopi dan pelarut n-Heksana didapatkan nilai dari difusivitas minyak kopi sebesar  $9,93 \times 10^{-10}$  dan  $9,99 \times 10^{-10} \text{ dm}^2/\text{s}$ . Nilai konstanta kecepatan ekstraksi pada masing-masing suhu didapatkan sebesar 0,450 dan 0.667 dm/s. Nilai SSE didapatkan berturut - turut sebesar  $2,733 \times 10^{-13}$  dan  $6,824 \times 10^{-13}$ . Nilai SSE yang mendekati nol menunjukkan bahwa model matematik yang diajukan cocok untuk digunakan dalam proses ekstraksi minyak kopi dari ampas kopi. Sehingga, model yang diajukan dapat menjadi acuan dalam mengintrepetasikan fenomena ekstraksi yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castaneda, H. A., & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 24-36.

Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A.-G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound-assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols, and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 540-560.

Corrochano, B., Melrose, J., Bentley, A., Fryer, P., & Bakalis, S. (2015). A new methodology to estimate the steady-state permeability of roast and ground coffee in packed beds. *Journal of Food Engineering*, 106-116.

Dai, J. (2006). *MICROWAVE-ASSISTED EXTRACTION AND SYNTHESIS*. Canada : McGiII University.

Dibert, K., & Cros, E. (1989). Solvent Extraction of Oil and Chlorogenic Acid from Green Coffee. Part II:

Kinetic Data. *Journal of Food Engineering*, 199-214.

Girotto, F., Pivato, A., Cossu, R., Nkeng, G. E., & Lavagnolo, M. C. (2017). The broad spectrum of possibilities for spent coffee grounds valorization. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 695-701.

ICO. (2021, June 22). *ICO Trade Statistics Tables; International Coffee Organization (ICO)*. Retrieved from [http://www.ico.org/trade\\_statistics.asp](http://www.ico.org/trade_statistics.asp)

Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2011). The Physical and Chemical Effects. In *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing* (pp. 1-12). Springer Science Business Media.

Mataa, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2017). Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. *Bioresource Technology*, 1077-1084.

Mingos, D. M., & Baghurst, D. R. (1991). Tilden Lecture. Applications of microwave dielectric heating effects to synthetic problems in chemistry. *Chemical Society Reviews*, 1-47.

Mussatto, S. I., Machado, E. M., Carneiro, L. M., & Teixeira, J. A. (2012). Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. *Applied Energy*, 763-768.

Ribeiro, H., Marto, J., Raposo, S., Agapito, M., Isaac, V., Chiari, B. G., . . . Simões, P. (330-337). From coffee industry waste materials to skin-friendly products with improved skin fat levels. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2013.

S.Caetano, N., Silva, V. F., Melo, A. C., Martins, A. A., & Mata, T. M. (n.d.). Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications. *Repositório Científico do Instituto Politécnico do Porto*.



- Saratalea, G. D., Bhosale, R., Shobana, S., Banu, J. R., Pugazhendhi, A., Mahmoud, E., . . . Kumar, G. (2020). A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production. *Bioresource Technology*, 123800.
- Service, U. F., & Agriculture, U. D. (2021, June 22). *Department of Agriculture. USDA Coffee: World Markets and Trade*. Retrieved from <https://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade>
- Shirsatha, S., Sonawanea, S., & Gogate, P. (2012). Intensification of extraction of natural products using ultrasonic irradiations—A review of current status. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 10-23.
- Stylianou, M., Agapiou, A., Omirou, M., Vyrides, I., Ioannides, I. M., Maratheftis, G., & Fasoula, D. (2018). Converting environmental risks to benefits by using spent coffee grounds (SCG) as a valuable resource. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 100-109.
- Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L., & Bates, D. (2008). Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry — A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 161-169.