

ANALISIS PARAMETER NILAI DIFUSIVITAS KAFEIN PADA EKSTRAKSI AMPAS KOPI BERBANTU GELOMBANG ULTRASONIK

Mega Mustikaningrum^{a,*}, Fikrah Dian Indrawati Sawali^b

^aProgram Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Gresik

Jl. Sumatera No. 101, Gn. Malang, Randuagung, Kebomas, Gresik, Jawa Timur 61121

^bProgram Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik Industri Logam Morowali

Jl. Trans Sulawesi Labota, Bahodopi, Morowali, Sulawesi Tengah, 94974

*E-mail: megamustikaningrum@umg.ac.id

Masuk Tanggal : 27 April , revisi tanggal: 4 Mei, diterima untuk diterbitkan tanggal : 30 Juni 2023

Abstrak

Limbah ampas kopi yang sangat melimpah diakibatkan konsumsi minuman kopi yang meningkat dan menjadi gagasan penting bagaimana pengolahan limbah ampas kopi agar kemudian tidak menjadi limbah buangan yang tidak bermanfaat. Salah satu senyawa yang dapat dimanfaatkan kembali dari buangan limbah ampas kopi adalah kafein. Kafein merupakan senyawa yang bermanfaat bagi kesehatan. Kafein dapat di isolasi dari limbah ampas kopi dengan cara ekstraksi. Pada penelitian ini ekstraksi dilakukan dengan menggunakan bantuan gelombang ultrasonik dengan bantuan alat sonikator tipe *bath*. Sebesar 25 gram sampel ampas kopi dilarutkan pada 250 ml dan diletakkan pada alat sonikator yang dioperasikan selama 45 menit pada 30 °C. Sampel hasil kemudian dianalisis menggunakan HPLC untuk mengetahui konsentrasi akhir kafein yang dihasilkan. Fokus penelitian ini adalah mencari nilai beberapa parameter uji seperti konstanta difusivitas (D_A), konstanta kecepatan ekstraksi (k) dan konstanta kesetimbangan ekstraksi (K), dimana didapatkan masing-masing nilai parameter uji sebesar 0,014462 dm²/menit; 0,00256 dm²/menit dan 103,218. Konsentrasi akhir kafein yang dihasilkan pada penelitian sebesar 0,08053 mol/dm³.

Kata Kunci: Ampas kopi, kafein, ultrasonik, difusivitas, konstanta kecepatan ekstraksi

Abstract

The abundant amount of coffee grounds was caused by the increased consumption of coffee drinks and became an important idea for how to process coffee grounds so that they do not become useless waste. One of the compounds that can be reused from coffee grounds is caffeine. Caffeine is a compound that is beneficial to health. Caffeine can be isolated from coffee grounds by extraction. In this study the extraction was carried out using the help of ultrasonic waves with the help of a bath type sonicator. 25 grams of coffee grounds sample was dissolved in 250 ml and placed in a sonicator which was operated for 45 minutes at 30 °C. The resulting sample was then analyzed using HPLC to determine the final concentration of the resulting caffeine. The focus of this study was to find the values of several test parameters such as the diffusivity constant (D_A), the extraction rate constant (k) and the extraction equilibrium constant (K), where each test parameter value was 0.014462 dm²/minute; 0.00256 dm²/min and 103.218. The final concentration of caffeine produced in the study was 0.08053 mol/dm³.

Keywords: Coffee grounds, caffeine, ultrasonic, diffusivity, extraction rate constant

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan suatu komoditas pertanian yang sangat penting dan terklasifikasi sebagai minuman populer di seluruh dunia [1], dengan

konsumsi harian lebih dari 2 miliar cangkir [2]. Pada dekade terakhir, konsumsi global terus meningkat pada tingkat rata-rata lebih dari 1 % per

tahun, mencapai produksi yang diharapkan lebih dari 10,53 megaton pada tahun 2020/2021 [3-4].

Dalam semua tahap siklus produksi kopi, terdapat limbah padat yang dihasilkan dalam jumlah yang signifikan, yang harus diperlakukan dan atau dibuang dengan benar. Limbah tersebut dikategorikan menjadi dua aliran : (i) limbah pra pemanggangan, didefinisikan sebagai sekam kopi dari pengolahan kering dan ampas kopi yang dihasilkan dari pengolahan basah dan (ii) residu pasca-pemanggangan, seperti kulit perak dan ampas kopi bekas atau biasa dikenal dengan istilah *spent coffee grounds* (SCGs) yang dihasilkan dari penyeduhan kopi [5]. Diantara aliran limbah ini, residu kopi yang diseduh merupakan jenis limbah yang jumlahnya paling signifikan, dimana 1 ton biji kopi hijau menghasilkan sekitar 650 kg SCG basah yang dihasilkan [6]. Penelitian ini berfokus kepada ekstraksi kafein pada ampas kopi (SCG) setelah pembuatan minuman kopi. Jumlah SCG yang dihasilkan oleh industri kopi berkisar enam juta ton [7].

Kebijakan saat ini pada residu didasarkan pada pengelolaan limbah hierarki [8] dan perspektif *life cycle thinking* (LCT) [9]. Meskipun pencegahan dan minimalisasi limbah berada pada puncak hierarki pengelolaan sampah, namun ada beberapa kondisi yang tidak dapat dihindari, salah satunya adalah tingginya energi regenerasi dan daur ulang limbah yang tidak layak serta adanya kontaminasi yang tinggi. Oleh karena itu, pendekatan pertama sebagai upaya yang harus dilakukan untuk pemulihan limbah adalah mengisolasi komponen yang bernilai komersial dan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk produk yang lain [8,10] atau pengolahan limbah kopi menjadi *biorefinery* [11].

Aplikasi potensial yang berbeda pada residu SGC telah diujikan misalnya aplikasi lipid dari SCG yang dapat bernilai tinggi untuk aplikasi kosmetik [12], atau untuk polimer dan resin *thermosetting* [13], atau untuk produksi biodiesel. Sisa biomassa yang telah digunakan untuk ekstraksi minyak dapat digunakan untuk biodiesel dengan menghidrolisis selulosa dan hemiselulosa, yang diikuti dengan fermentasi gula. SGC juga merupakan sumber fenolik antioksidan dan polisakarida galaktomanan, bioremediasi untuk penyerapan polutan air, bahan bakar *boiler* karena memiliki nilai kalor yang tinggi yaitu 19-26,9 MJ/kg. Selain itu juga dapat digunakan untuk produksi *biochar* atau *bio oil* melalui proses pirolisis.

Salah satu komponen yang penting yang bermanfaat pada ampas kopi adalah kafein. Kafein (1,3,7-trimetil-3,7-dihidro-1H-purin-2,6-dion) adalah alkaloid metil xanthine dari rumus kimia

$C_8H_{10}N_4O_2$. Pada dasarnya kafein dapat diperoleh dari biji dan daun kopi [14], dan dapat ditemukan pula pada daun teh [15], biji kakao [16] dan kacang kola [17]. Alkaloid ini adalah yang paling berharga, apabila dilihat dari pentingnya bagi manusia karena digunakan sebagai obat perangsang dan menaikkan fokus [18-19].

Namun, pentingnya kafein sebagai senyawa obat lebih dari sekadar perangsang [20], dimana dapat merangsang kantong empedu, yang akan mengurangi risiko batu empedu [21]. Kafein juga bisa mengurangi perkembangan beberapa penyakit seperti risiko Parkinson dengan melindungi sel-sel otak [22] dan dapat meredakan serangan asma [23]. Bioaktivitas kafein sebagai penghambat patogenik mikroorganisme juga penting dieksplorasi dalam industri farmasi [24].

Ekstraksi kafein dari ampas kopi telah dilakukan dengan beberapa teknik konvensional, seperti *soxhlet* [25], ekstraksi padat-cair dan ekstraksi cair-cair berbasis fluida super kritis [26]. Dari teknologi tersebut, memiliki beberapa kelemahan, seperti penggunaan pelarut yang beracun dan memiliki efek negatif bagi lingkungan, serta memiliki nilai biaya investasi yang tinggi [27]. Metode non konvensional telah dikembangkan untuk mengekstrak kafein guna menanggulangi dampak lingkungan yang dihasilkan seperti ekstraksi berbantu cairan ionik [28], serta penggunaan bantuan gelombang mikro [29]. Metode tersebut menghasilkan yield produk kafein dengan jumlah yang cukup besar, serta mampu mengurangi penggunaan pelarut yang dibutuhkan. Namun, kedua metode tersebut memiliki kelemahan dimana membutuhkan bahan baku yang mahal dan penggunaan energi yang besar [30].

Penggunaan metode ekstraksi berbasis ultrasonik merupakan metode modern berdasar teknologi hijau dan inovatif [31-32], yang dianggap efisien untuk ekstraksi padat-cair, karena hemat biaya, sederhana, serbaguna dan yield yang dihasilkan cukup besar [33]. Mekanisme metode ultrasonik ini bergantung pada efek gelombang ultrasonik yang mengalir melalui media cair-padat yang melibatkan pembentukan gelombang mikro. Gelembung membentuk karitas pada media cair [34], memberikan gaya geser yang tinggi dan saat ledakan gelembung terjadi, hal tersebut menyebabkan pencampuran mikro dan turbulen makro, serta menawarkan tingkat kontak yang lebih tinggi antara padatan dan cairan. Hal tersebut menyebabkan beberapa efek seperti *erosion*, *surface peeling* dan pemecahan partikel padatan yang bersentuhan. Dimana keseluruhan

mekanisme ini terjadi ketika ekstraksi ultrasonik tercapai [33].

Fokus penelitian ini adalah mencari nilai difusivitas dan konstanta kecepatan reaksi berdasarkan model matematika yang diajukan, dimana nilai parameter uji yang dicari belum ditemukan dan dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

2.1 Metode Percobaan

Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan ultrasonik tipe *bath* model *tool* GT Sonic VGT-1620QTD, padatan serbuk bubuk kopi disiapkan sebesar 25 gram yang disuspensikan dalam 250 ml aquadest. Proses ekstraksi dilakukan selama 40 menit pada suhu 30 °C. Sampel diambil secara berkala dan disaring menggunakan filter 0,22 mikrometer untuk kemudian dianalisis kandungan kafein pada sampel.

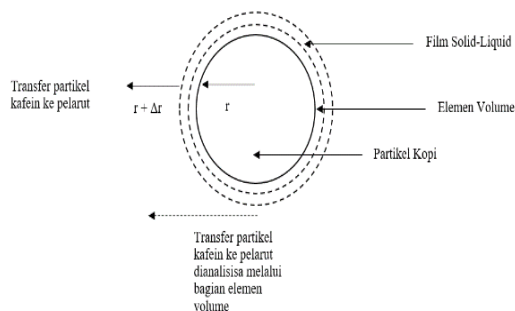
Sampel kemudian dianalisis menggunakan kolom HPLC model 1514, Shimadzu Corporation untuk mengetahui konsentrasi kafein yang dihasilkan.

2.2 Pengajuan Model Matematika

Pengembangan model kinetika ekstraksi kafein pada ampas kopi bertujuan untuk mencari parameter difusivitas (D_A) dan konstanta kecepatan ekstraksi (k), dengan asumsi yang diajukan diantaranya adalah sebagai berikut [35];

1. Partikel berbentuk bulat, dengan porositas seragam, dan hanya mempertimbangkan gradien ke arah radial [36].
2. Ukuran partikel bersifat bimodal, dengan persamaan difusi diselesaikan untuk setiap bagian partikel kasar dan hasil menggunakan ukuran partikel rata-rata
3. Tidak ada efek *swelling* partikel, serta tidak ada perubahan porositas partikel setiap waktu

Model yang diusulkan dianalisis berdasarkan elemen volume pada suatu partikel yang dijelaskan menggunakan hukum kedua Fick. Fenomena ekstraksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Elemen Volume Partikel Kopi

Berdasarkan mekanisme yang dijelaskan pada elemen volume, maka pemodelan perpindahan massa kafein akan diberikan berdasarkan persamaan (1) – (5).

Neraca massa kafein dalam elemen volume pada bagian cairan :

Neraca massa kafein masuk – neraca massa kafein keluar ke film cairan + neraca massa generatif = neraca massa akumulasi

$$-D_A \cdot S \cdot \left. \frac{\partial C_A}{\partial r} \right|_r - \left(-D_A \cdot S \cdot \left. \frac{\partial C_A}{\partial r} \right|_{r+\Delta r} + \frac{k a m}{V} (C_A - C_A^*) \right) = (1)$$

$$-D_A \cdot (4 \pi r^2) \cdot \left. \frac{\partial C_A}{\partial r} \right|_r - \left(-D_A \cdot (4 \pi (r + \Delta r)^2) \cdot \left. \frac{\partial C_A}{\partial r} \right|_{r+\Delta r} + \frac{k a m}{V} (C_A - C_A^*) \right) = \frac{dC_A}{dt} \quad (2)$$

Persamaan (2), diselesaikan dengan melakukan limitasi terhadap Δr sehingga diperoleh persamaan akhir yang dapat dilihat pada persamaan (3) :

$$\frac{dC_A}{dt} = D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial r^2} - D_A \frac{2}{r} \frac{\partial C_A}{\partial r} - \frac{k a m}{V} (C_A - C_A^*) \quad (3)$$

Dengan cara yang sama, dituliskan model neraca massa kafein pada padatan kopi yang dapat dilihat pada persamaan (4)

$$\frac{dX_A}{dt} = D_A \frac{\partial^2 X_A}{\partial r^2} - D_A \frac{2}{r} \frac{\partial X_A}{\partial r} - k a (C_A^* - C_A) \quad (4)$$

C_A^* adalah parameter yang sulit untuk ditentukan, sehingga penyelesaian dari persamaan di atas dibantu menggunakan model Henry (5) :

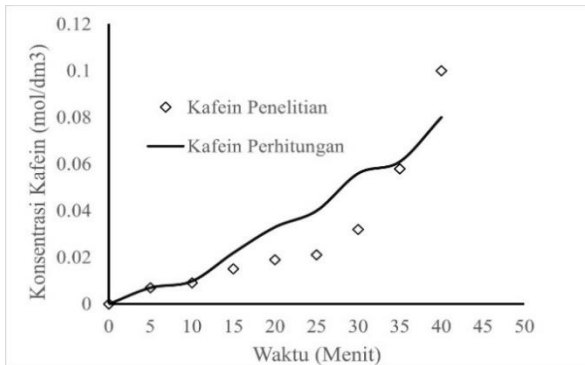
$$X_A = K C_A^* \quad (5)$$

Dimana k adalah konstanta laju ekstraksi (dm/menit), m adalah massa kopi (gram), V adalah volume pelarut (liter), C_A adalah konsentrasi kafein pada cairan (mol/dm³), X_A adalah konsentrasi zat ekstraktif pada padatan (mol/dm³), K adalah konstanta kesetimbangan ekstraksi, $\frac{dC_A}{dt}$ adalah distribusi konsentrasi kafein setiap waktu pada cairan (mol/jam), $\frac{dX_A}{dt}$ adalah distribusi kafein pada padatan kopi setiap waktu (mol/jam), dan a adalah luasan permukaan ampas kopi (dm²), r adalah radius (dm) dan D_A adalah difusivitas kafein pada pelarut (dm²/menit).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelesaian persamaan (1)-(5) digunakan untuk mencari nilai konstanta laju ekstraksi (k)

untuk senyawa kafein serta difusivitas dari kafein ke pelarut dengan bantuan MATLAB R2013a. Gambar 2 memberikan perbandingan data antara data penelitian dan data perhitungan dari produk ekstraksi kafein.



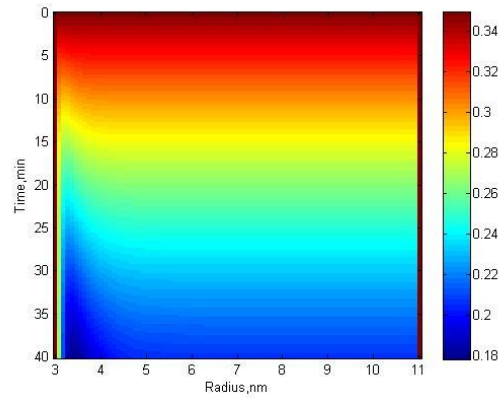
Gambar 2. Perbandingan Data Penelitian dan Perhitungan

Pada Gambar 2 terlihat adanya peningkatan konsentrasi yang dihasilkan setiap kali ekstraksi, konsentrasi akhir yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian adalah $0,08053 \text{ mol/dm}^3$ dan hasil ekstraksi selama 40 menit pada hasil perhitungan adalah $0,10022 \text{ mol/dm}^3$. Berdasarkan hasil data penelitian dan perhitungan diperoleh parameter terukur yang dapat dilihat pada Tabel 1.

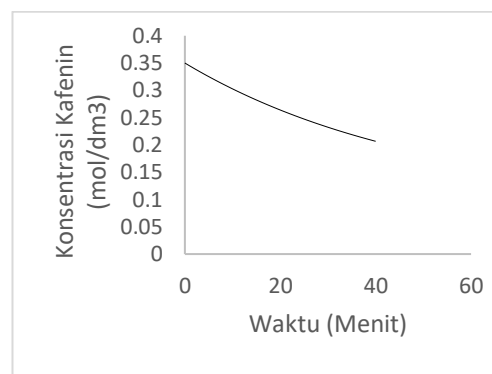
Tabel 1. Hasil parameter Uji Ekstraksi Kafein

Parameter	Unit	Hasil
Difusivitas Kafein (D_A)	dm^2/menit	0,014462
Laju Kecepatan Ekstraksi (k)	dm/menit	0,02568
Konstanta Kesetimbangan (K)		103,218
SSE		0,0071

Dalam hal ini, difusivitas kafein menggambarkan kecepatan perpindahan massa dari kafein yang melewati film padat-cair ke pelarut yang berawal dari bubuk ampas kopi. Dalam hal ini model matematika cukup baik dalam menggambarkan fenomena yang terjadi, terlihat dari besarnya nilai SSE yang mendekati nol. Kemudian sebaran kafein akan dievaluasi pada setiap waktu dan posisi pada bubuk ampas kopi. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Distribusi Konsentrasi Kafein untuk setiap Waktu dan Posisi di Padatan



Gambar 4. Distribusi Konsentrasi Kafein di Padatan

Gambar 3 menunjukkan hasil sebaran konsentrasi kafein selama 40 menit pada pengukuran diameter 3-11 nm dari bubuk kopi. Pada menit ke 0-10 konsentrasi kafein pada setiap posisi tidak berubah cukup signifikan, perubahan konsentrasi kafein cukup signifikan pada menit ke 15 sampai 40 hingga diperoleh konsentrasi akhir dan terdistribusi merata ke seluruh posisi bubuk kopi dimana nilai dari *range* konsentrasi dapat dilihat pada *color bar* yang ditampilkan. Gambar 4 menunjukkan kurva antara waktu dan penurunan konsentrasi kafein yang terhitung dengan bantuan MATLAB pada padatan ampas kopi, dimana nilai konsentrasi akhir di padatan ampas kopi sebesar $0,206599 \text{ mol/dm}^3$.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ekstraksi senyawa kafein dari ampas kopi menggunakan bantuan gelombang ultrasonik dengan waktu operasi 40 menit, didapatkan nilai akhir kafein yang dihasilkan sebesar $0,08053 \text{ mol/dm}^3$. Berdasarkan Parameter uji kuantitatif nilai difusivitas senyawa kafein (D_A), konstanta kecepatan ekstraksi (k), konstanta kesetimbangan (K), diperoleh senyawa nilai masing-masing sebesar $0.014462 \text{ dm}^2/\text{menit}$; $0,00256 \text{ dm}/\text{menit}$ dan 103,218.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Giroto, A. Pivato, R. Cossu, G. E. Nkeng and M. C. Lavagnolo, "The broad spectrum of possibilities for spent coffee grounds valorisation," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 20, p. 695–701, 2018.
- [2] P. S. Murthy and M. M. Naidu, "Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 66, pp. 45–58, 2012.
- [3] ICO, "ICO Trade Statistics Tables; International Coffee Organization (ICO)," http://www.ico.org/trade_statistics.asp, London, UK, 2021.
- [4] U. F. A. Service and U. D. o. Agriculture, "USDA Coffee: World Markets and Trade," <https://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade>, 2021.
- [5] R. Campos-Vega, G. Loarca-Piña, H. A. Vergara-Castañeda and B. D. Oomah, "Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 45, no. 1, pp. 24–36, 2015.
- [6] M. Stylianou, A. Agapiou, M. Omirou, I. Vyrides, I. M. Ioannides, G. Maratheftis and D. Fasoula, "Converting environmental risks to benefits by using spent coffee grounds (SCG) as a valuable resource," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 36, pp. 35776–35790., 2018 .
- [7] T. M. Mata, A. A. Martins and N. S. Caetano, "Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization," *Bioresource Technology*, vol. 247, pp. 1077–1084, 2018.
- [8] E. Commission, "EC The Waste Framework Directive 2008/98/EC;," European Commission, Luxembourg, 2008.
- [9] A. A. Martins, M. Simaria, J. Barbosa, R. Barbosa, D. T. Silva, C. S. Rocha, T. M. Mata and N. S. Caetano, "Life cycle assessment tool of electricity generation in Portugal," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 20, p. 129–143, 2018.
- [10] N. S. Caetano, V. F. M. Silva, A. C. Melo, A. A. Martins and T. M. Mata, "Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 16, p. 1423–1430, 2014.
- [11] N. S. Caetano, T. M. Mata, A. A. Martins and M. C. Felgueiras, "New Trends in Energy Production and Utilization," *Energy Procedia*, vol. 107, pp. 7–14, 2017.
- [12] H. Ribeiro, J. Marto, S. Raposo, M. Agapito, V. Isaac, B. G. Chiari, P. F. Lisboa, A. Paiva, S. Barreiros and P. Simões, "From coffee industry waste materials to skin-friendly products with improved skin fat levels," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 115, no. 3, pp. 330–336, 2012.
- [13] G. D. Saratale, R. Bhosale, S. Shobana, J. R. Banu, A. Pugazhendhi, E. Mahmoud, R. Sirohi, S. K. Bhatia, A. Atabani, V. Mulone, J.-J. Yoon, H. S. Shin and G. Kumar, "A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production," *Bioresource Technology*, vol. 314, p. 123800, 2020.
- [14] M. Ali, M. Eisa and M. I. Taha, "Termination of Caffeine in Some Sudanese Berages by High Performance Liquid chromatography," *Pakistan Journal of Tritition*, vol. 11, no. 4, pp. 336–342, 2012.
- [15] M. Soni, "Extraction and analysis of Caffeine from various brands of tea leaves marketed in India," *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 8, no. 1, pp. 119–120, 2019.
- [16] M. Grassia, G. Salvatori, M. Roberti, D. Planeta and L. Cinquanta, "Polyphenols, methylxanthines, fatty acids and minerals in cocoa beans and cocoa products," *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 13, p. 1721–1728, 2019.
- [17] U. Umeda and Y. T. Puyate, "Extraction of Caffeine from Native Kola-nut (cola - acuminata)," *International Journal of Chemistry and Chemical Processes*, vol. 6, no. 1, pp. 47–55, 2020.
- [18] R. M. v. Dam, F. B. Hu and W. C. Willett, "Coffee, Caffeine, and Health," *The New England Journal of Medicine*, vol. 383, no. 4, pp. 369–378, 2020.
- [19] K. F. Alsamarrai and S. T. Ameen, "Simultaneous Ratio Derivative Spectrophotometric Determination of Paracetamol, Caffeine and Ibuprofen in Their Ternary Form," *Baghdad Science Journal*, vol. 19, no. 6, pp. 1276–1285, 2022.
- [20] J. Monteiro, M. G. Alves, P. F. Oliveira and B. M. Silva, "Pharmacological potential of methylxanthines: Retrospective analysis and

- future expectations," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 1-29, 2018.
- [21] G. Grosso, J. Godos, F. Galvano and E. L. Giovannucci, "Coffee, Caffeine, and Health," *Annual Review of Nutrition*, vol. 37, no. 1, pp. 131-156, 2017.
- [22] J. Aaseth, P. Dusek and P. M. Roos, "Prevention of progression in Parkinson's disease," *Biometals*, vol. 31, no. 5, pp. 737-747, 2018.
- [23] T. Wolde, "Effects of caffeine on health and nutrition: A Review," *Food Science and Quality Management*, vol. 30, pp. 59-65, 2014.
- [24] B. Han, J. Chen, Y.-q. Yu, Y.-b. Cao and Y.-y. Jiang, "Antifungal activity of *Rubus chingii* extract combined with fluconazole against fluconazole-resistant *Candida albicans*," *Microbiology and Immunology*, vol. 60, p. 82-92, 2016.
- [25] L. S. Torres-Valenzuela, A. Ballesteros-Gómez, A. Sanin and S. Rubio, "Valorization of spent coffee grounds by supramolecular solvent extraction," *Separation and Purification Technology*, vol. 228, p. 115759, 2019.
- [26] K. S. Andrade, R. T. Gonçalves, M. Maraschin, R. M. Ribeiro-do-Valle, J. Martínez and S. R. Ferreira, "Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: Antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition," *Talanta*, vol. 88, pp. 544-552, 2012.
- [27] M. D. Pavlović, A. V. Buntić, S. S. Šiler-Marinković and S. I. Dimitrijević-Branković, "Ethanol influenced fast microwave-assisted extraction for natural antioxidants obtaining from spent filter coffee," *Separation and Purification Technology*, vol. 118, pp. 503-510, 2013.
- [28] Z. Zhang, M. M. Poojary, A. Choudhary, D. K. Rai, M. N. Lund and B. K. Tiwari, "Ultrasound processing of coffee silver skin, brewer's spent grain and potato peel wastes for phenolic compounds and amino acids: a comparative study," *Journal of Food Science and Technology*, 2020.
- [29] G. R. Lopes, C. P. Passos, C. Rodrigues, J. A. Teixeira and M. A. Coimbra, "Impact of microwave-assisted extraction on roasted coffee carbohydrates, caffeine, chlorogenic acids and coloured compounds," *Food Research International*, vol. 129, p. 108864, 2020.
- [30] A. M. Ferreira, H. M. D. Gomes, J. A. P. Coutinho and M. G. Freire, "Valorization of Spent Coffee by Caffeine Extraction Using Aqueous Solutions of Cholinium-Based Ionic Liquids," *Sustainability*, vol. 13, p. 7509, 2021.
- [31] B. A. Abdul-Majeed, A. A. Hassan and B. M. Kurji, "Extraction of Oil from *Eucalyptus Camadulensis* Using Water Distillation Method," *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 7-12, 2013.
- [32] S. A. Mohammed and M. S. Hameed, "Extraction of 4-Nitrophenol from Aqueous Solutions using Bulk ionic Liquid Membranes," *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 542-550, 2016.
- [33] F. Chemat, N. Rombaut, A.-G. Sicaire, A. Meullemiestre, A.-S. Fabiano-Tixier and M. Abert-Vian, "Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 34, pp. 540-560, 2017.
- [34] A. M. Al-Yaqoobi, M. N. Al-Rikabey and K. H. Algharrawi, "Treatment of Dairy Wastewater by Electrocoagulation and Ultrasonic - Assisted Electrocoagulation Methods," *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 20, no. 6, pp. 949-957, 2021.
- [35] D. Beverly, E. Lopez-Quiroga, R. Farr, J. Melrose, S. Henson, S. Bakalis and P. J. Fryer, "Modeling Mass and Heat Transfer in Multiphase Coffee Aroma," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 59, no. 24, pp. 11099-11112, 2020.
- [36] B. Corrochano, J. Melrose, A. Bentley, P. Fryer and S. Bakalis, "A new methodology to estimate the steady-state permeability of roast and ground coffee in packed beds," *Journal of Food Engineering*, vol. 150, pp. 106-116, 2015.