

Karakteristik Mutu Sensoris Cairan Fermentasi Buah Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) sebagai Minuman Fungsional Potensial.

Sensory Quality Characteristics of Fermented Arabica Coffee (Coffea arabica L.) Fruit Liquid as a Potential Functional Beverage

Syahirman Hakim^{1✉}, Masrura Hayati², Irwansyah³, Akmal Izwar⁴, Baihaqi⁵

Diterima: 1 Oktober 2025. Disetujui: 7 Oktober 2025. Dipublikasi: 29 Oktober 2025

Abstrak. Cairan hasil fermentasi buah kopi Arabika merupakan produk samping pengolahan kopi yang berpotensi dikembangkan sebagai minuman fungsional karena mengandung berbagai senyawa bioaktif hasil metabolisme mikroorganisme selama fermentasi. Namun, informasi mengenai lama fermentasi yang mampu menghasilkan mutu sensoris optimum masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh lama fermentasi terhadap karakteristik mutu sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan lama fermentasi, yaitu 5, 10, dan 15 hari, masing-masing diulang tiga kali. Mutu sensoris dievaluasi menggunakan uji sensori terhadap warna, aroma, rasa, tingkat keasaman, body, aftertaste, kejernihan, dan overall acceptability. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama fermentasi berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap seluruh parameter sensoris. Fermentasi selama 10 hari menghasilkan skor tertinggi pada warna (7,63), aroma (7,81), rasa (7,74), tingkat keasaman (7,42), body (7,39), aftertaste (7,54), kejernihan (7,48), dan overall acceptability (7,68). Disimpulkan bahwa fermentasi selama 10 hari merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan cairan fermentasi buah kopi Arabika dengan mutu sensoris terbaik. Hasil penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi pemanfaatan cairan fermentasi buah kopi sebagai minuman fungsional bernilai tambah serta mendukung diversifikasi produk dan peningkatan nilai ekonomi industri kopi Arabika..

Kata Kunci: kopi Arabika; fermentasi; mutu sensoris; minuman fungsional; nilai tambah.

ABSTRACT. *Arabica coffee fermentation liquid is a by-product of coffee processing with considerable potential to be developed as a functional beverage because it contains bioactive compounds produced through microbial metabolism during fermentation. However, information regarding the optimum fermentation duration to achieve the best sensory quality remains limited. This study aimed to evaluate the effect of fermentation duration on the sensory characteristics of Arabica coffee fermentation liquid. A Completely Randomized Design (CRD) with three fermentation periods (5, 10, and 15 days), each conducted in triplicate, was employed. Sensory quality was evaluated using a hedonic test covering color, aroma, taste, acidity, body, aftertaste, clarity, and overall acceptability. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. Fermentation duration significantly affected ($p < 0.05$) all sensory attributes. The 10-day fermentation produced the highest scores for color (7.63), aroma (7.81), taste (7.74), acidity (7.42), body (7.39), aftertaste (7.54), clarity (7.48), and overall acceptability (7.68). It can be concluded that a 10-day fermentation period is the optimum condition for producing Arabica coffee fermentation liquid with superior sensory quality. These findings provide scientific evidence supporting the utilization of coffee fermentation liquid as a value-added functional beverage and offer practical insights for product diversification and sustainable development of the Arabica coffee industry.*

Keyword: *Arabica coffee; fermentation; sensory quality; functional beverage; value-added product..*

Pendahuluan

Kopi (*Coffea arabica* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang berperan penting dalam perekonomian dunia maupun Indonesia. Selain menjadi sumber devisa dan mata pencaharian bagi jutaan petani, kopi juga mengalami perkembangan pesat sebagai produk dengan nilai tambah tinggi seiring meningkatnya permintaan terhadap kopi spesialti dan produk

berbasis kesehatan. Perubahan preferensi konsumen dari sekadar minuman berkafein menuju produk yang memiliki karakteristik sensoris unggul serta manfaat fisiologis mendorong inovasi dalam teknologi pascapanen, terutama melalui proses fermentasi. Fermentasi tidak hanya berfungsi menghilangkan lapisan mucilage pada buah kopi, tetapi juga berperan dalam membentuk karakteristik aroma, cita rasa, keasaman, body, dan aftertaste melalui aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan berbagai metabolit seperti asam organik, ester, alkohol, aldehid, dan senyawa volatil lainnya (Brioschi Junior et al., 2021). Perkembangan penelitian dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa perhatian terhadap fermentasi kopi tidak lagi terbatas pada peningkatan mutu biji kopi, tetapi juga diarahkan pada pemanfaatan hasil samping proses

✉ ¹ Syahirman Hakim
syahirman.hakim@gmail.com

² Masrura Hayati

³ Irwansyah

⁴ Akmal Izwar

⁵ Baihaqi

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Almuslim

⁴ Program Studi Akuakultur Fakultas Pertanian Universitas Almuslim

⁵ Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo

pengolahan. Salah satu hasil samping yang berpotensi dikembangkan adalah cairan fermentasi buah kopi yang selama ini umumnya dibuang sebagai limbah cair. Padahal, cairan tersebut masih mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti asam organik, senyawa *fenolik*, *flavonoid*, asam *klorogenat*, kafein, dan metabolit hasil fermentasi yang berpotensi memberikan aktivitas antioksidan serta manfaat Kesehatan (Hakim et al., 2023). Pemanfaatan cairan fermentasi buah kopi sebagai produk pangan sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dan *zero waste*, karena mampu meningkatkan nilai tambah limbah pascapanen sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Janissen & Huynh, 2018).

Meningkatnya konsumsi minuman fungsional memperkuat potensi cairan fermentasi buah kopi sebagai produk bernilai tambah (Hakim & Izwar, 2025). Buah kopi, termasuk cascara dan *pulp*, mengandung fenolik, flavonoid, trigonelin, dan asam klorogenat yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan minuman fungsional (Bevilacqua et al., 2023). Fermentasi dengan mikroorganisme *indigenous* dapat meningkatkan senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan serta membentuk profil aroma dan cita rasa lebih kompleks (Liu et al., 2019). Namun, pengembangan produk sangat ditentukan oleh mutu sensoris, meliputi warna, aroma, rasa, keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan *overall acceptability*. Mikroorganisme menghasilkan ester, alkohol, aldehid, dan asam organik yang membentuk karakter *fruity*, *floral*, *winey*, dan *caramel*, sedangkan fermentasi tidak terkendali dapat menghasilkan *off-flavour* dan menurunkan penerimaan konsumen (Wu et al., 2024).

Di Indonesia, penelitian fermentasi kopi masih didominasi peningkatan mutu biji, sedangkan kajian karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi sebagai minuman fungsional masih terbatas. Padahal, produk ini berpotensi mendukung diversifikasi kopi, meningkatkan nilai tambah hasil samping pascapanen, dan memperkuat agroindustri berkelanjutan. Oleh karena itu, evaluasi mutu sensoris diperlukan untuk memastikan karakteristik produk sesuai preferensi konsumen. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik mutu sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) sebagai minuman fungsional potensial. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah pengembangan minuman fermentasi berbasis buah kopi dengan mutu sensoris, nilai fungsional, dan nilai ekonomi yang lebih tinggi

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan Penelitian

Alat penelitian meliputi wadah fermentasi tertutup, timbangan digital, baskom, pisau stainless steel, blender, saringan kain, gelas ukur, corong, botol kaca steril, *sample cup*, label kode, dan formulir penilaian sensoris. Bahan utama berupa buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) varietas Gayo 1, dipanen pada tingkat kematangan merah penuh (*fully ripe*) dari perkebunan rakyat Kabupaten Aceh Tengah. Air mineral digunakan untuk pencucian buah dan pembilasan peralatan.

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu lama fermentasi buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.). Perlakuan yang diberikan terdiri atas tiga taraf lama fermentasi, yaitu: F1 = fermentasi selama 5 hari, F2 = fermentasi selama 10 hari, F3 = fermentasi selama 15 hari. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh 9 satuan percobaan. Parameter yang diamati meliputi karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi, yaitu warna, aroma, rasa, tingkat keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan penerimaan keseluruhan (*overall acceptability*).

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan: Buah kopi hasil panen disortasi untuk memisahkan buah rusak, terserang hama, dan belum matang. Buah kemudian dicuci dengan air mengalir hingga bersih dan ditiriskan hingga bebas air.
2. Proses Fermentasi: Buah kopi utuh dimasukkan ke dalam wadah plastik fermentasi steril dan ditutup rapat untuk berlangsungnya *spontaneous fermentation* menggunakan mikroorganisme *indigenous*. Fermentasi dilakukan pada suhu ruang ($\pm 28^{\circ}\text{C}$) selama 5, 10, dan 15 hari tanpa penambahan kultur starter maupun bahan tambahan.
3. Pembuatan Cairan Fermentasi: Setelah fermentasi sesuai perlakuan, buah dipisahkan dari cairan hasil fermentasi. Cairan disaring menggunakan kain steril untuk menghilangkan partikel kasar, kemudian dimasukkan ke botol kaca steril dan disimpan pada suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$ sebelum pengujian sensoris.

Pengujian Sensoris

Karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi dievaluasi melalui uji hedonik oleh 30 panelis tidak terlatih. Sampel ± 30 mL disajikan

dalam gelas transparan pada suhu ruang, diberi kode acak tiga digit dan disajikan secara acak. Panelis membilas mulut dengan air mineral antar sampel. Parameter meliputi warna, aroma, rasa, keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan *overall acceptability* menggunakan skala 9 poin., seperti yang ditunjukkan pada table 1 dibawah ini.

Tabel 1. Skala Penilaian Tingkat Kesukaan Panelis pada Pengujian sensoris

Skor	Tingkat Kesukaan
1	Sangat tidak suka
2	Tidak suka
3	Agak tidak suka
4	Sedikit tidak suka
5	Netral
6	Agak suka
7	Suka
8	Sangat suka
9	Amat sangat suka

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Mutu Sensoris Cairan Fermentasi Buah Kopi Arabika

Evaluasi mutu sensoris melibatkan 30 panelis tidak terlatih menggunakan skala hedonik 9 poin terhadap warna, aroma, rasa, keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan *overall acceptability*. Seluruh perlakuan memperoleh skor di atas 5 (netral). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi, sedangkan 15 hari menurunkan kesukaan sebagian besar atribut, menunjukkan pentingnya lama fermentasi terhadap kualitas sensoris cairan fermentasi kopi. Rata-rata skor sensori setiap parameter pada masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata skor uji sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada berbagai lama fermentasi

Parameter	5 Hari	10 Hari	15 Hari
Warna	6,52 ± 0,41 ^b	7,63 ± 0,35 ^a	6,71 ± 0,47 ^b
Aroma	6,34 ± 0,52 ^b	7,81 ± 0,42 ^a	6,18 ± 0,56 ^b
Rasa	6,18 ± 0,43 ^b	7,74 ± 0,38 ^a	5,91 ± 0,61 ^c
Tingkat Keasaman	6,07 ± 0,39 ^b	7,42 ± 0,36 ^a	5,68 ± 0,52 ^c
Body	6,29 ± 0,48 ^b	7,39 ± 0,41 ^a	6,12 ± 0,43 ^b
Aftertaste	6,12 ± 0,46 ^b	7,54 ± 0,40 ^a	5,84 ± 0,58 ^c
Kejernihan	6,74 ± 0,44 ^b	7,48 ± 0,37 ^a	6,53 ± 0,41 ^b
Overall Acceptability	6,30 ± 0,47 ^b	7,68 ± 0,39 ^a	5,95 ± 0,55 ^c

1. Warna

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap warna cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,63 ± 0,35^a), berbeda nyata dengan 5 hari (6,52 ± 0,41^b) dan 15 hari (6,71 ± 0,47^b). Perlakuan 5 dan 15 hari tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT 5%, sedangkan superskrip berbeda menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05). Fermentasi 10 hari optimum menghasilkan warna yang paling disukai panelis. Aktivitas khamir dan

bakteri asam laktat menghasilkan pektinase yang mendegradasi *mucilage* kaya pektin, gula, dan fenolik, sehingga mengurangi partikel tersuspensi dan meningkatkan kejernihan serta homogenitas cairan (Brioschi Junior et al., 2021). Fermentasi terlalu singkat belum optimal, sedangkan fermentasi berlebih meningkatkan oksidasi fenolik dan pembentukan pigmen cokelat (Leonard et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan Cassimiro et al. (2022) dan Chin et al. (2023).

2. Aroma

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap aroma cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,81), diikuti 5 hari (6,34) dan 15 hari (6,18). Uji DMRT 5% menunjukkan 10 hari berbeda nyata (p<0,05) dengan 5 dan 15 hari, sedangkan keduanya tidak berbeda nyata (p>0,05). Fermentasi 10 hari menghasilkan aroma lebih kompleks, harmonis, dan disukai panelis. Khamir dan bakteri asam laktat memetabolisme gula serta asam amino menghasilkan senyawa volatil (Chin et al., 2023). Khamir menghasilkan etanol, ester, alkohol, aldehid, dan keton berciri *fruity*, *floral*, dan *sweet*, sedangkan bakteri asam laktat meningkatkan kompleksitas aroma (Zhang et al., 2023). Fermentasi berlebih meningkatkan aktivitas bakteri asam asetat yang menurunkan aroma buah dan bunga (Zhao et al., 2023) (Cassimiro et al., 2022).

3. Rasa

Parameter rasa menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,74), diikuti 5 hari (6,18) dan 15 hari (5,91). Uji DMRT 5% menunjukkan seluruh perlakuan berbeda signifikan, sehingga lama fermentasi menentukan keseimbangan cita rasa. Perubahan rasa dipengaruhi transformasi senyawa kimia oleh mikroorganisme. Hidrolisis sukrosa, glukosa, dan fruktosa menyediakan substrat bagi khamir untuk menghasilkan etanol dan senyawa volatil, sedangkan bakteri asam laktat menghasilkan asam laktat yang memberikan keasaman seimbang (De Bruyn et al., 2017). Degradasi protein menghasilkan peptida dan asam amino sebagai prekursor cita rasa. Fermentasi 10 hari menghasilkan keseimbangan manis, asam, dan aromatik, sedangkan 15 hari meningkatkan akumulasi asam asetat dan metabolit sekunder sehingga rasa lebih tajam serta menurunkan kesukaan panelis (Brioschi Junior et al., 2021).

4. Tingkat Keasaman

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap tingkat keasaman cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,42), diikuti 5 hari (6,07) dan 15 hari (5,68). Uji DMRT 5% menunjukkan ketiga perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$). Mikroorganisme memanfaatkan gula *mucilage* dan menghasilkan asam laktat, asetat, sitrat, serta suksinat yang membentuk karakter keasaman kopi (Evangelista et al., 2021). Fermentasi 10 hari menghasilkan keseimbangan asam organik dan sensasi *bright acidity* yang lebih disukai, sedangkan 5 hari belum optimal membentuk metabolit. Fermentasi 15 hari meningkatkan oksidasi etanol menjadi asam asetat sehingga keasaman lebih tajam dan penerimaan menurun (Silva et al., 2022). Temuan ini sejalan dengan Evangelista et al. (2014) dan Silva et al. (2022).

5. Body

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap *body* cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,39), diikuti 5 hari (6,29) dan 15 hari (6,12). Uji DMRT 5% menunjukkan fermentasi 10 hari berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan 5 dan 15 hari, sedangkan 5 dan 15 hari tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Fermentasi 10 hari menghasilkan kekentalan, tekstur, dan *mouthfeel* paling disukai. *Body* dipengaruhi polisakarida, peptida, protein terhidrolisis, dan makromolekul hasil fermentasi. Aktivitas pektinase, selulase, dan protease meningkatkan senyawa terlarut pembentuk tekstur (Brioschi Junior et al., 2021). Fermentasi 10 hari menghasilkan hidrolisis optimum, sedangkan 5 hari belum maksimal. Fermentasi 15 hari menyebabkan degradasi lanjutan dan berkurangnya komponen viskositas sehingga *body* lebih ringan (Jimenez et al., 2023).

6. Aftertaste

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap *aftertaste* cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,54), diikuti 5 hari (6,12) dan 15 hari (5,84). Uji DMRT 5% menunjukkan seluruh perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$), sehingga 10 hari optimum menghasilkan *aftertaste* bersih, seimbang, dan disukai panelis. *Aftertaste* terbentuk dari interaksi senyawa volatil dan non-volatil. Khamir menghasilkan alkohol, ester, aldehid, dan senyawa aromatik, sedangkan bakteri asam laktat menghasilkan asam laktat dan metabolit sekunder (Gomes et al., 2022). Fermentasi 10 hari

menyeimbangkan volatil, gula, dan asam organik, sedangkan 15 hari meningkatkan asam asetat dan oksidasi fenolik sehingga menimbulkan rasa asam-sepat (Vez et al., 2023). Temuan ini sejalan dengan Todhanakasem et al. (2024).

7. Kejernihan

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap kejernihan cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,48), diikuti 5 hari (6,74) dan 15 hari (6,53). Uji DMRT 5% menunjukkan 10 hari berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan 5 dan 15 hari, sedangkan 5 dan 15 hari tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Kejernihan dipengaruhi degradasi *mucilage* kaya pektin, hemiselulosa, dan polisakarida oleh enzim pektinase dari khamir *Saccharomyces*, *Pichia*, *Hanseniaspora* serta bakteri asam laktat (da Mota et al., 2020). Fermentasi 5 hari belum optimal, sedangkan 15 hari meningkatkan biomassa, autolisis khamir, endapan metabolit, dan oksidasi fenolik sehingga kejernihan menurun (Dias et al., 2020). Temuan ini sejalan dengan (Cassimiro et al. 2023).

8. Overall Acceptability

Overall acceptability mencerminkan penerimaan keseluruhan atribut sensoris. Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap *overall acceptability* (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,68), diikuti 5 hari (6,30) dan 15 hari (5,95). Uji DMRT 5% menunjukkan seluruh perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$), sehingga 10 hari optimum menghasilkan penerimaan terbaik. Tingginya skor menunjukkan keseimbangan metabolisme khamir, bakteri asam laktat, dan bakteri asam asetat. Khamir menghasilkan etanol dan senyawa volatil, sedangkan bakteri asam laktat menghasilkan asam organik serta metabolit aroma dengan aktivitas bakteri asam asetat terkendali (Brioschi Junior et al., 2021). Fermentasi 5 hari belum optimal, sedangkan 15 hari meningkatkan akumulasi asam asetat dan menurunkan keseimbangan sensoris (Bressani et al., 2023). Dengan demikian, 10 hari direkomendasikan sebagai kondisi optimum.

Simpulan

Lama fermentasi berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap seluruh karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika. Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi pada seluruh parameter, menunjukkan keseimbangan optimum aktivitas mikroorganisme dan pembentukan metabolit. Fermentasi 5 hari belum optimal,

sedangkan 15 hari menurunkan kesukaan akibat fermentasi berlebih. Fermentasi 10 hari direkomendasikan sebagai kondisi optimum untuk menghasilkan minuman fungsional bernilai tambah.

Referensi

- Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I., Rose'Meyer, R. B., Panchal, S. K., & Brown, L. (2023). The potential of spent coffee grounds in functional food development. *Nutrients*, 15(4), 994. <https://doi.org/10.3390/nu15040994>
- Bressani, A. P. P., de Andrade, H. M., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2023). Protein profile and volatile compound associated with fermented coffees with yeast co-inoculation. *Food Research International*, 174, 113494. [10.1016/j.foodres.2023.113494](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113494)
- Chin, X. H., Ho, S., Chan, G., Basri, N., Teo, M., Thong, A., ... & Peterson, E. C. (2023). Aromatic yeasts: interactions and implications in coffee fermentation aroma profiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(25), 9677-9686. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c01357>
- da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food research international*, 136, 109482. [10.1016/j.foodres.2020.109482](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482)
- da Silva, M. C. S., da Luz, J. M. R., Veloso, T. G. R., Gomes, W. D. S., Oliveira, E. C. D. S., Anastácio, L. M., ... & Pereira, L. L. (2022). Processing techniques and microbial fermentation on microbial profile and chemical and sensory quality of the coffee beverage. *European Food Research and Technology*, 248(6), 1499-1512.
- De Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., ... & De Vuyst, L. (2017). Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Applied and environmental microbiology*, 83(1), e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- de Jesus Cassimiro, D. M., Batista, N. N., Fonseca, H. C., Naves, J. A. O., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2022). Coinoculation of lactic acid bacteria and yeasts increases the quality of wet fermented Arabica coffee. *International Journal of Food Microbiology*, 369, 109627. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109627>
- Dias, S. R., Coelho, V. S., Brioschi, A., Junior, D. B., Guarconi, R. C., Freitas, V. V., ... & Cardoso, W. S. (2020). Sensory Q-Grader evaluation of fermented arabica coffees by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and lactic bacteria (*Pediococcus acidilactici*) cultures. *Coffee Science-ISSN 1984-3909*, 15, e151690-e151690. <https://doi.org/10.25186/v15i.1690>
- Evangelista, S. R., Silva, C. F., da Cruz Miguel, M. G. P., de Souza Cordeiro, C., Pinheiro, A. C. M., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Research International*, 61, 183-195. [10.1016/j.foodres.2013.11.033](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033)
- Gomes, W. D. S., Pereira, L. L., Filete, C. A., Moreira, T. R., Guarconi, R. C., Catarina da Silva Oliveira, E., ... & Partelli, F. L. (2022). Changes in the chemical and sensory profile of coffea canephora var. conilon promoted by carbonic maceration. *Agronomy*, 12(10), 2265. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102265>
- Hakim, S., Irwansyah, I., Widayat, R., & Baihaqi, B. (2024). Analisis kimia kopi cherry arabika (coffea arabica) dengan kajian kadar alkohol, kadar kafein, total padatan terlarut dan total asam pada limbah hasil fermentasi anaerobik. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian*, 9(2), 172-179. <https://doi.org/10.37149/jimdp.v9i2.868>
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and recycling*, 128, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Jimenez, E. J. M., Martins, P. M. M., de Oliveira Vilela, A. L., Batista, N. N., da Rosa, S. D. V. F., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2023). Influence of anaerobic fermentation and yeast inoculation on the viability, chemical composition, and quality of coffee. *Food Bioscience*, 51, 102218. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102218>

- Junior, D. B., Guarconi, R. C., da Silva, M. D. C. S., Veloso, T. G. R., Kasuya, M. C. M., da Silva Oliveira, E. C., ... & Pereira, L. L. (2021). Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, 342, 128296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Adhikari, B., & Fang, Z. (2021). Fermentation transforms the phenolic profiles and bioactivities of plant-based foods. *Biotechnology advances*, 49, 107763. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107763>
- Liu, Y., Cheng, H., Liu, H., Ma, R., Ma, J., & Fang, H. (2019). Fermentation by multiple bacterial strains improves the production of bioactive compounds and antioxidant activity of goji juice. *Molecules*, 24(19), 3519. <https://doi.org/10.3390/molecules24193519>
- Machado, M., Ferreira, H., Oliveira, M. B. P., & Alves, R. C. (2024). Coffee by-products: An underexplored source of prebiotic ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(20), 7181-7200. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2181761>
- Todhanakasem, T., Van Tai, N., Pornpukdeewattana, S., Charoenrat, T., Young, B. M., & Wattanachaisaereekul, S. (2024). The relationship between microbial communities in coffee fermentation and aroma with metabolite attributes of finished products. *Foods*, 13(15), 2332. <https://doi.org/10.3390/foods13152332>
- Vaz, C. J. T., De Menezes, L. S., De Santana, R. C., Sentanin, M. A., Zotarelli, M. F., & Guidini, C. Z. (2023). Effect of fermentation on the physicochemical characteristics and sensory quality of Arabica coffee. *3 Biotech*, 13(12), 403. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03768-9>
- Wu, H., Viejo, C. G., Fuentes, S., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2024). Evaluation of spontaneous fermentation impact on the physicochemical properties and sensory profile of green and roasted arabica coffee by digital technologies. *Food Research International*, 176, 113800. [10.1016/j.foodres.2023.113800](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113800)
- Zhang, S. J., Page-Zoerkler, N., Genevaz, A., Roubaty, C., Pollien, P., Bordeaux, M., ... & Moccand, C. (2023). Unlocking the aromatic potential of native coffee yeasts: from isolation to a biovolatile platform. *Journal of agricultural and food chemistry*, 71(11), 4665-4674. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08263>

pengolahan. Salah satu hasil samping yang berpotensi dikembangkan adalah cairan fermentasi buah kopi yang selama ini umumnya dibuang sebagai limbah cair. Padahal, cairan tersebut masih mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti asam organik, senyawa *fenolik*, *flavonoid*, asam *klorogenat*, kafein, dan metabolit hasil fermentasi yang berpotensi memberikan aktivitas antioksidan serta manfaat Kesehatan (Hakim et al., 2023). Pemanfaatan cairan fermentasi buah kopi sebagai produk pangan sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dan *zero waste*, karena mampu meningkatkan nilai tambah limbah pascapanen sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan (Janissen & Huynh, 2018).

Meningkatnya konsumsi minuman fungsional memperkuat potensi cairan fermentasi buah kopi sebagai produk bernilai tambah (Hakim & Izwar, 2025). Buah kopi, termasuk cascara dan *pulp*, mengandung fenolik, flavonoid, trigonelin, dan asam klorogenat yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan minuman fungsional (Bevilacqua et al., 2023). Fermentasi dengan mikroorganisme *indigenous* dapat meningkatkan senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan serta membentuk profil aroma dan cita rasa lebih kompleks (Liu et al., 2019). Namun, pengembangan produk sangat ditentukan oleh mutu sensoris, meliputi warna, aroma, rasa, keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan *overall acceptability*. Mikroorganisme menghasilkan ester, alkohol, aldehid, dan asam organik yang membentuk karakter *fruity*, *floral*, *winey*, dan *caramel*, sedangkan fermentasi tidak terkendali dapat menghasilkan *off-flavour* dan menurunkan penerimaan konsumen (Wu et al., 2024).

Di Indonesia, penelitian fermentasi kopi masih didominasi peningkatan mutu biji, sedangkan kajian karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi sebagai minuman fungsional masih terbatas. Padahal, produk ini berpotensi mendukung diversifikasi kopi, meningkatkan nilai tambah hasil samping pascapanen, dan memperkuat agroindustri berkelanjutan. Oleh karena itu, evaluasi mutu sensoris diperlukan untuk memastikan karakteristik produk sesuai preferensi konsumen. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik mutu sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) sebagai minuman fungsional potensial. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar ilmiah pengembangan minuman fermentasi berbasis buah kopi dengan mutu sensoris, nilai fungsional, dan nilai ekonomi yang lebih tinggi

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan Penelitian

Alat penelitian meliputi wadah fermentasi tertutup, timbangan digital, baskom, pisau stainless steel, blender, saringan kain, gelas ukur, corong, botol kaca steril, *sample cup*, label kode, dan formulir penilaian sensoris. Bahan utama berupa buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) varietas Gayo 1, dipanen pada tingkat kematangan merah penuh (*fully ripe*) dari perkebunan rakyat Kabupaten Aceh Tengah. Air mineral digunakan untuk pencucian buah dan pembilasan peralatan.

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu lama fermentasi buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.). Perlakuan yang diberikan terdiri atas tiga taraf lama fermentasi, yaitu: F1 = fermentasi selama 5 hari, F2 = fermentasi selama 10 hari, F3 = fermentasi selama 15 hari. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh 9 satuan percobaan. Parameter yang diamati meliputi karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi, yaitu warna, aroma, rasa, tingkat keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan penerimaan keseluruhan (*overall acceptability*).

Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan: Buah kopi hasil panen disortasi untuk memisahkan buah rusak, terserang hama, dan belum matang. Buah kemudian dicuci dengan air mengalir hingga bersih dan ditiriskan hingga bebas air.
2. Proses Fermentasi: Buah kopi utuh dimasukkan ke dalam wadah plastik fermentasi steril dan ditutup rapat untuk berlangsungnya *spontaneous fermentation* menggunakan mikroorganisme *indigenous*. Fermentasi dilakukan pada suhu ruang ($\pm 28^{\circ}\text{C}$) selama 5, 10, dan 15 hari tanpa penambahan kultur starter maupun bahan tambahan.
3. Pembuatan Cairan Fermentasi: Setelah fermentasi sesuai perlakuan, buah dipisahkan dari cairan hasil fermentasi. Cairan disaring menggunakan kain steril untuk menghilangkan partikel kasar, kemudian dimasukkan ke botol kaca steril dan disimpan pada suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$ sebelum pengujian sensoris.

Pengujian Sensoris

Karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi dievaluasi melalui uji hedonik oleh 30 panelis tidak terlatih. Sampel ± 30 mL disajikan

dalam gelas transparan pada suhu ruang, diberi kode acak tiga digit dan disajikan secara acak. Panelis membilas mulut dengan air mineral antar sampel. Parameter meliputi warna, aroma, rasa, keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan *overall acceptability* menggunakan skala 9 poin., seperti yang ditunjukkan pada table 1 dibawah ini.

Tabel 1. Skala Penilaian Tingkat Kesukaan Panelis pada Pengujian sensoris

Skor	Tingkat Kesukaan
1	Sangat tidak suka
2	Tidak suka
3	Agak tidak suka
4	Sedikit tidak suka
5	Netral
6	Agak suka
7	Suka
8	Sangat suka
9	Amat sangat suka

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Mutu Sensoris Cairan Fermentasi Buah Kopi Arabika

Evaluasi mutu sensoris melibatkan 30 panelis tidak terlatih menggunakan skala hedonik 9 poin terhadap warna, aroma, rasa, keasaman, *body*, *aftertaste*, kejernihan, dan *overall acceptability*. Seluruh perlakuan memperoleh skor di atas 5 (netral). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi, sedangkan 15 hari menurunkan kesukaan sebagian besar atribut, menunjukkan pentingnya lama fermentasi terhadap kualitas sensoris cairan fermentasi kopi. Rata-rata skor sensori setiap parameter pada masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai rata-rata skor uji sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada berbagai lama fermentasi

Parameter	5 Hari	10 Hari	15 Hari
Warna	6,52 ± 0,41 ^b	7,63 ± 0,35 ^a	6,71 ± 0,47 ^b
Aroma	6,34 ± 0,52 ^b	7,81 ± 0,42 ^a	6,18 ± 0,56 ^b
Rasa	6,18 ± 0,43 ^b	7,74 ± 0,38 ^a	5,91 ± 0,61 ^c
Tingkat Keasaman	6,07 ± 0,39 ^b	7,42 ± 0,36 ^a	5,68 ± 0,52 ^c
Body	6,29 ± 0,48 ^b	7,39 ± 0,41 ^a	6,12 ± 0,43 ^b
Aftertaste	6,12 ± 0,46 ^b	7,54 ± 0,40 ^a	5,84 ± 0,58 ^c
Kejernihan	6,74 ± 0,44 ^b	7,48 ± 0,37 ^a	6,53 ± 0,41 ^b
Overall Acceptability	6,30 ± 0,47 ^b	7,68 ± 0,39 ^a	5,95 ± 0,55 ^c

1. Warna

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap warna cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,63 ± 0,35^a), berbeda nyata dengan 5 hari (6,52 ± 0,41^b) dan 15 hari (6,71 ± 0,47^b). Perlakuan 5 dan 15 hari tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT 5%, sedangkan superskrip berbeda menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05). Fermentasi 10 hari optimum menghasilkan warna yang paling disukai panelis. Aktivitas khamir dan

bakteri asam laktat menghasilkan pektinase yang mendegradasi *mucilage* kaya pektin, gula, dan fenolik, sehingga mengurangi partikel tersuspensi dan meningkatkan kejernihan serta homogenitas cairan (Brioschi Junior et al., 2021). Fermentasi terlalu singkat belum optimal, sedangkan fermentasi berlebih meningkatkan oksidasi fenolik dan pembentukan pigmen cokelat (Leonard et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan Cassimiro et al. (2022) dan Chin et al. (2023).

2. Aroma

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap aroma cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,81), diikuti 5 hari (6,34) dan 15 hari (6,18). Uji DMRT 5% menunjukkan 10 hari berbeda nyata (p<0,05) dengan 5 dan 15 hari, sedangkan keduanya tidak berbeda nyata (p>0,05). Fermentasi 10 hari menghasilkan aroma lebih kompleks, harmonis, dan disukai panelis. Khamir dan bakteri asam laktat memetabolisme gula serta asam amino menghasilkan senyawa volatil (Chin et al., 2023). Khamir menghasilkan etanol, ester, alkohol, aldehyd, dan keton berciri *fruity*, *floral*, dan *sweet*, sedangkan bakteri asam laktat meningkatkan kompleksitas aroma (Zhang et al., 2023). Fermentasi berlebih meningkatkan aktivitas bakteri asam asetat yang menurunkan aroma buah dan bunga (Zhao et al., 2023) (Cassimiro et al., 2022).

3. Rasa

Parameter rasa menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,74), diikuti 5 hari (6,18) dan 15 hari (5,91). Uji DMRT 5% menunjukkan seluruh perlakuan berbeda signifikan, sehingga lama fermentasi menentukan keseimbangan cita rasa. Perubahan rasa dipengaruhi transformasi senyawa kimia oleh mikroorganisme. Hidrolisis sukrosa, glukosa, dan fruktosa menyediakan substrat bagi khamir untuk menghasilkan etanol dan senyawa volatil, sedangkan bakteri asam laktat menghasilkan asam laktat yang memberikan keasaman seimbang (De Bruyn et al., 2017). Degradasi protein menghasilkan peptida dan asam amino sebagai prekursor cita rasa. Fermentasi 10 hari menghasilkan keseimbangan manis, asam, dan aromatik, sedangkan 15 hari meningkatkan akumulasi asam asetat dan metabolit sekunder sehingga rasa lebih tajam serta menurunkan kesukaan panelis (Brioschi Junior et al., 2021).

4. Tingkat Keasaman

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap tingkat keasaman cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,42), diikuti 5 hari (6,07) dan 15 hari (5,68). Uji DMRT 5% menunjukkan ketiga perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$). Mikroorganisme memanfaatkan gula *mucilage* dan menghasilkan asam laktat, asetat, sitrat, serta suksinat yang membentuk karakter keasaman kopi (Evangelista et al., 2021). Fermentasi 10 hari menghasilkan keseimbangan asam organik dan sensasi *bright acidity* yang lebih disukai, sedangkan 5 hari belum optimal membentuk metabolit. Fermentasi 15 hari meningkatkan oksidasi etanol menjadi asam asetat sehingga keasaman lebih tajam dan penerimaan menurun (Silva et al., 2022). Temuan ini sejalan dengan Evangelista et al. (2014) dan Silva et al. (2022).

5. Body

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap *body* cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,39), diikuti 5 hari (6,29) dan 15 hari (6,12). Uji DMRT 5% menunjukkan fermentasi 10 hari berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan 5 dan 15 hari, sedangkan 5 dan 15 hari tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Fermentasi 10 hari menghasilkan kekentalan, tekstur, dan *mouthfeel* paling disukai. *Body* dipengaruhi polisakarida, peptida, protein terhidrolisis, dan makromolekul hasil fermentasi. Aktivitas pektinase, selulase, dan protease meningkatkan senyawa terlarut pembentuk tekstur (Brioschi Junior et al., 2021). Fermentasi 10 hari menghasilkan hidrolisis optimum, sedangkan 5 hari belum maksimal. Fermentasi 15 hari menyebabkan degradasi lanjutan dan berkurangnya komponen viskositas sehingga *body* lebih ringan (Jimenez et al., 2023).

6. Aftertaste

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap *aftertaste* cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,54), diikuti 5 hari (6,12) dan 15 hari (5,84). Uji DMRT 5% menunjukkan seluruh perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$), sehingga 10 hari optimum menghasilkan *aftertaste* bersih, seimbang, dan disukai panelis. *Aftertaste* terbentuk dari interaksi senyawa volatil dan non-volatil. Khamir menghasilkan alkohol, ester, aldehid, dan senyawa aromatik, sedangkan bakteri asam laktat menghasilkan asam laktat dan metabolit sekunder (Gomes et al., 2022). Fermentasi 10 hari

menyeimbangkan volatil, gula, dan asam organik, sedangkan 15 hari meningkatkan asam asetat dan oksidasi fenolik sehingga menimbulkan rasa asam-sepat (Vez et al., 2023). Temuan ini sejalan dengan Todhanakasem et al. (2024).

7. Kejernihan

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap kejernihan cairan fermentasi buah kopi Arabika (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,48), diikuti 5 hari (6,74) dan 15 hari (6,53). Uji DMRT 5% menunjukkan 10 hari berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan 5 dan 15 hari, sedangkan 5 dan 15 hari tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Kejernihan dipengaruhi degradasi *mucilage* kaya pektin, hemiselulosa, dan polisakarida oleh enzim pektinase dari khamir *Saccharomyces*, *Pichia*, *Hanseniaspora* serta bakteri asam laktat (da Mota et al., 2020). Fermentasi 5 hari belum optimal, sedangkan 15 hari meningkatkan biomassa, autolisis khamir, endapan metabolit, dan oksidasi fenolik sehingga kejernihan menurun (Dias et al., 2020). Temuan ini sejalan dengan (Cassimiro et al. 2023).

8. Overall Acceptability

Overall acceptability mencerminkan penerimaan keseluruhan atribut sensoris. Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap *overall acceptability* (Tabel 2). Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi (7,68), diikuti 5 hari (6,30) dan 15 hari (5,95). Uji DMRT 5% menunjukkan seluruh perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$), sehingga 10 hari optimum menghasilkan penerimaan terbaik. Tingginya skor menunjukkan keseimbangan metabolisme khamir, bakteri asam laktat, dan bakteri asam asetat. Khamir menghasilkan etanol dan senyawa volatil, sedangkan bakteri asam laktat menghasilkan asam organik serta metabolit aroma dengan aktivitas bakteri asam asetat terkendali (Brioschi Junior et al., 2021). Fermentasi 5 hari belum optimal, sedangkan 15 hari meningkatkan akumulasi asam asetat dan menurunkan keseimbangan sensoris (Bressani et al., 2023). Dengan demikian, 10 hari direkomendasikan sebagai kondisi optimum.

Simpulan

Lama fermentasi berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap seluruh karakteristik sensoris cairan fermentasi buah kopi Arabika. Fermentasi 10 hari menghasilkan skor tertinggi pada seluruh parameter, menunjukkan keseimbangan optimum aktivitas mikroorganisme dan pembentukan metabolit. Fermentasi 5 hari belum optimal,

sedangkan 15 hari menurunkan kesukaan akibat fermentasi berlebih. Fermentasi 10 hari direkomendasikan sebagai kondisi optimum untuk menghasilkan minuman fungsional bernilai tambah.

Referensi

- Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I., Rose'Meyer, R. B., Panchal, S. K., & Brown, L. (2023). The potential of spent coffee grounds in functional food development. *Nutrients*, 15(4), 994. <https://doi.org/10.3390/nu15040994>
- Bressani, A. P. P., de Andrade, H. M., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2023). Protein profile and volatile compound associated with fermented coffees with yeast co-inoculation. *Food Research International*, 174, 113494. [10.1016/j.foodres.2023.113494](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113494)
- Chin, X. H., Ho, S., Chan, G., Basri, N., Teo, M., Thong, A., ... & Peterson, E. C. (2023). Aromatic yeasts: interactions and implications in coffee fermentation aroma profiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(25), 9677-9686. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c01357>
- da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food research international*, 136, 109482. [10.1016/j.foodres.2020.109482](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482)
- da Silva, M. C. S., da Luz, J. M. R., Veloso, T. G. R., Gomes, W. D. S., Oliveira, E. C. D. S., Anastácio, L. M., ... & Pereira, L. L. (2022). Processing techniques and microbial fermentation on microbial profile and chemical and sensory quality of the coffee beverage. *European Food Research and Technology*, 248(6), 1499-1512.
- De Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., ... & De Vuyst, L. (2017). Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Applied and environmental microbiology*, 83(1), e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- de Jesus Cassimiro, D. M., Batista, N. N., Fonseca, H. C., Naves, J. A. O., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2022). Coinoculation of lactic acid bacteria and yeasts increases the quality of wet fermented Arabica coffee. *International Journal of Food Microbiology*, 369, 109627. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109627>
- Dias, S. R., Coelho, V. S., Brioschi, A., Junior, D. B., Guarconi, R. C., Freitas, V. V., ... & Cardoso, W. S. (2020). Sensory Q-Grader evaluation of fermented arabica coffees by yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and lactic bacteria (*Pediococcus acidilactici*) cultures. *Coffee Science-ISSN 1984-3909*, 15, e151690-e151690. <https://doi.org/10.25186/v15i.1690>
- Evangelista, S. R., Silva, C. F., da Cruz Miguel, M. G. P., de Souza Cordeiro, C., Pinheiro, A. C. M., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Research International*, 61, 183-195. [10.1016/j.foodres.2013.11.033](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033)
- Gomes, W. D. S., Pereira, L. L., Filete, C. A., Moreira, T. R., Guarconi, R. C., Catarina da Silva Oliveira, E., ... & Partelli, F. L. (2022). Changes in the chemical and sensory profile of coffea canephora var. conilon promoted by carbonic maceration. *Agronomy*, 12(10), 2265. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102265>
- Hakim, S., Irwansyah, I., Widayat, R., & Baihaqi, B. (2024). Analisis kimia kopi cherry arabika (coffea arabica) dengan kajian kadar alkohol, kadar kafein, total padatan terlarut dan total asam pada limbah hasil fermentasi anaerobik. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian*, 9(2), 172-179. <https://doi.org/10.37149/jimdp.v9i2.868>
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and recycling*, 128, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Jimenez, E. J. M., Martins, P. M. M., de Oliveira Vilela, A. L., Batista, N. N., da Rosa, S. D. V. F., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2023). Influence of anaerobic fermentation and yeast inoculation on the viability, chemical composition, and quality of coffee. *Food Bioscience*, 51, 102218. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102218>

- Junior, D. B., Guarconi, R. C., da Silva, M. D. C. S., Veloso, T. G. R., Kasuya, M. C. M., da Silva Oliveira, E. C., ... & Pereira, L. L. (2021). Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, 342, 128296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Adhikari, B., & Fang, Z. (2021). Fermentation transforms the phenolic profiles and bioactivities of plant-based foods. *Biotechnology advances*, 49, 107763. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107763>
- Liu, Y., Cheng, H., Liu, H., Ma, R., Ma, J., & Fang, H. (2019). Fermentation by multiple bacterial strains improves the production of bioactive compounds and antioxidant activity of goji juice. *Molecules*, 24(19), 3519. <https://doi.org/10.3390/molecules24193519>
- Machado, M., Ferreira, H., Oliveira, M. B. P., & Alves, R. C. (2024). Coffee by-products: An underexplored source of prebiotic ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(20), 7181-7200. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2181761>
- Todhanakasem, T., Van Tai, N., Pornpukdeewattana, S., Charoenrat, T., Young, B. M., & Wattanachaisaereekul, S. (2024). The relationship between microbial communities in coffee fermentation and aroma with metabolite attributes of finished products. *Foods*, 13(15), 2332. <https://doi.org/10.3390/foods13152332>
- Vaz, C. J. T., De Menezes, L. S., De Santana, R. C., Sentanin, M. A., Zotarelli, M. F., & Guidini, C. Z. (2023). Effect of fermentation on the physicochemical characteristics and sensory quality of Arabica coffee. *3 Biotech*, 13(12), 403. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03768-9>
- Wu, H., Viejo, C. G., Fuentes, S., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2024). Evaluation of spontaneous fermentation impact on the physicochemical properties and sensory profile of green and roasted arabica coffee by digital technologies. *Food Research International*, 176, 113800. [10.1016/j.foodres.2023.113800](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113800)
- Zhang, S. J., Page-Zoerkler, N., Genevaz, A., Roubaty, C., Pollien, P., Bordeaux, M., ... & Moccand, C. (2023). Unlocking the aromatic potential of native coffee yeasts: from isolation to a biovolatile platform. *Journal of agricultural and food chemistry*, 71(11), 4665-4674. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c08263>