

Kajian Pustaka: Potensi Teknologi Fermentasi Metode *Carbonic Maceration* sebagai Upaya Pengembangan Kualitas Citarasa Kopi

Literature Review: The Potential of Carbonic Maceration Fermentation Technology for Enhancing Coffee Flavor Quality

Rokhma Karynda Putri Melati^{1*}; Jaya Mahar Maligan¹

¹ Departemen Ilmu Pangan dan Bioteknologi, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Abstrak

Pendahuluan: *Carbonic maceration* menjadi salah satu dari metode fermentasi yang berpotensi untuk meningkatkan cita rasa kopi melalui modifikasi kondisi lingkungan selama proses fermentasi. Fermentasi *carbonic maceration* dilakukan pada ceri kopi pada kondisi anaerobik yang terkontrol dan lingkungan kaya karbon dioksida. **Tujuan:** Mengetahui proses fermentasi *carbonic maceration* dan potensinya dalam pengembangan kualitas citarasa kopi. **Metode:** Kajian pustaka dilakukan dengan pencarian literatur nasional maupun internasional pada Google Scholar dengan kata kunci spesifik diantaranya "*fermentation*", "*carbonic maceration*", dan "*coffee cherry*". **Hasil:** Metode *carbonic maceration* dapat menciptakan profil rasa yang unik dan kompleks pada kopi, termasuk menghasilkan senyawa-senyawa aroma yang berbeda dari metode fermentasi konvensional. Pada fermentasi ini terjadi perubahan pada senyawa kimia melalui tiga proses, yakni perubahan dalam keragaman mikroba, aktivitas metabolik mikroba, dan reaksi metabolik pada biji kopi itu sendiri. Dihasilkan pula senyawa seperti trigelin, asam format, lipid, kafein dan fenol yang berperan meningkatkan citarasa kopi.

Kata Kunci

Fermentasi, karbonik maserasi, ceri kopi

Abstract

Introduction: *Carbonic maceration* has emerged as one of the fermentation methods with the potential to enhance the flavor of coffee through the modification of environmental conditions during the fermentation process. *Carbonic maceration fermentation* is conducted on coffee cherries under controlled anaerobic conditions and a carbon dioxide-rich environment. **Objective:** To understand the *carbonic maceration fermentation* process and its potential in developing coffee flavor quality. **Method:** A literature review was undertaken by searching national and international literature on Google Scholar using specific keywords including "*fermentation*," "*carbonic maceration*," and "*coffee cherry*." **Results:** The *carbonic maceration* method can create a distinctive and intricate flavor profile in coffee, including generating aroma compounds that differ from conventional fermentation methods. This fermentation process involves changes in chemical compounds through three processes: variations in microbial diversity, microbial metabolic activity, and metabolic reactions within the coffee cherries themselves. Compounds such as trigelline, formic acid, lipids, caffeine, and phenols are also generated, contributing to the enhancement of coffee flavor.

Keyword

Fermentation, carbonic maceration, coffee cherry

* Korespondensi : Rokhma Karynda P.M.  karyndamelati@gmail.com

1. Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu minuman yang memiliki popularitas yang tinggi di seluruh penjuru dunia (Andrade *et al.*, 2022). Menurut *International Coffee Organization* (2023), konsumsi kopi di seluruh dunia mengalami peningkatan yang signifikan pada tahun 2021/2022, dengan kenaikan sebesar 4,2% menjadi mencapai 175,6 juta karung kopi berukuran 60 kg pertahun. Dalam hal ini, kualitas rasa menjadi faktor yang kritis bagi baik konsumen maupun produsen kopi. Seiring dengan pertumbuhan permintaan terhadap produk kopi yang beragam dan inovatif, terjadi perkembangan teknologi dalam proses pengolahan biji kopi yang semakin pesat. Dalam rangka untuk terus meningkatkan rasa kopi, telah muncul dorongan untuk berinovasi dan menjelajahi berbagai metode yang berbeda untuk memproses ceri kopi. Dalam konteks ini, teknologi fermentasi menjadi salah satu metode yang diterapkan untuk memproses ceri kopi dengan berbagai pendekatan yang diibandingkan untuk mencapai cita rasa kopi yang unggul.

Ceri kopi biasanya diolah dengan proses kering atau juga dikenal sebagai proses alami. Pada metode ini, buah kopi yang telah dipanen langsung dikeringkan dengan menggunakan pengeringan alami di bawah sinar matahari atau pengeringan buatan. Setelah kering, kulit buah kopi dikupas untuk mendapatkan biji kopi hijau (*Green Coffee Beans*). Metode ini cenderung memberikan cita rasa kopi yang lebih kuat dan berkarakter, dengan pengaruh fermentasi yang lebih sedikit pada biji kopi. Selain itu, terdapat metode pengolahan basah. Dalam metode ini, ceri kopi dikupas untuk menghilangkan kulitnya. Biji kopi pergamen yang masih mengandung sejumlah kadar air kemudian menjalani tahap fermentasi dalam air selama periode waktu tertentu. Setelah fermentasi, biji kopi dicuci, dikeringkan, dan kulit pergamen dihilangkan untuk menghasilkan *green bean*. Metode proses basah sering kali menghasilkan kopi dengan kecerahan dan kebersihan citarasa yang lebih tinggi, karena pengaruh fermentasi lebih signifikan dalam mengembangkan karakteristik rasa dan aroma kopi (Evangelista *et al.*, 2015).

Di tengah beragam metode fermentasi yang ada, metode *carbonic maceration* muncul sebagai salah satu metode yang berpotensi dalam meningkatkan kualitas citarasa kopi. Pada awalnya, teknologi ini digunakan dalam industri anggur. Saat ini *carbonic maceration* telah diadaptasi ke dalam budidaya kopi. Metode fermentasi ini melibatkan fermentasi ceri kopi dalam lingkungan anaerobik yang diperkaya dengan karbon dioksida dalam kadar yang terkendali. Tujuan mendasar dari metode ini adalah untuk menghasilkan interaksi yang unik antara mikroorganisme dan ceri kopi, yang pada akhirnya menghasilkan kompleksitas rasa yang khas dan berbeda dari metode fermentasi konvensional.

2. Bahan dan Metode

Kajian pustaka dilakukan dengan mengkaji literatur dari berbagai sumber, baik di tingkat nasional maupun internasional. Pencarian literatur dilakukan melalui platform akademik *Google Scholar* dengan penggunaan kata kunci spesifik yang telah ditentukan. Kata kunci tersebut mencakup istilah-istilah penting seperti "fermentasi", "*carbonic maceration*", dan "*coffee cherry*". Literatur yang digunakan adalah yang diterbitkan dalam 10 tahun terakhir yaitu pada tahun 2013 hingga tahun 2023. Dari literatur-literatur yang ditemukan, dipilih informasi tentang proses, mekanisme, dampak, dan potensi pengembangan kualitas citarasa kopi melalui metode fermentasi ini diharapkan dapat diperoleh dan dikaji secara mendalam.

2.1. Preparasi Sampel

Biji kopi dipetik dalam kondisi matang dengan ciri sekitar 95% ceri kopi sudah berwarna merah. Setelah dipanen, biji kopi yang masih segar perlu segera disortir atau dipisahkan berdasarkan kondisi buahnya, termasuk yang sudah merah, masih hijau, busuk atau rusak. Selain itu, ceri kopi juga dipisahkan dari daun kering, tangkai, batang, dan zat pengotor lainnya (Purbasari *et al.*, 2021). Setelah itu, ceri kopi akan melalui proses perambangan atau direndam dalam air. Ceri kopi yang muncul dan mengapung di permukaan diambil dan dipisahkan, sementara ceri kopi yang tenggelam dalam air, yang menunjukkan kualitas yang baik, akan digunakan dalam tahapan pengolahan berikutnya. Proses ini bertujuan untuk memisahkan ceri kopi yang layak untuk proses selanjutnya dari ceri kopi yang tidak memenuhi standar kualitas. Metode ini dapat membantu dalam menjaga kualitas biji kopi yang akan diolah lebih lanjut (Hariyanto *et al.*, 2022). Ceri kopi yang telah dicuci dimasukkan ke dalam kantong plastik steril yang terbuat dari bahan polipropilen halus. Kantong-kantong tersebut memiliki dimensi 40 cm × 50 cm dengan ketebalan 18 cm (Junior *et al.*, 2021).

2.2. Teknologi Fermentasi Metode Carbonic Maceration

Carbonic maceration merupakan teknologi fermentasi yang pada awalnya digunakan untuk fermentasi anggur dalam pembuatan *wine*. Metode ini terus dikembangkan selama beberapa tahun terakhir dan menjadikan produk semakin digemari oleh konsumen karena rasa *wine* yang unik. Oleh karena itu metode ini dioptimalkan pula pada bahan serupa seperti ceri kopi untuk menawarkan produk berkualitas dengan karakteristik rasa yang khas. *Carbonic maceration* dilakukan secara anaerobik terkontrol dan kaya karbon dioksida. Dalam lingkungan anaerob, fermentasi intraseluler berlangsung sehingga memicu produksi alkohol, pemecahan asam malat, memicu reaksi pektolitik dan proteolitik, menghasilkan senyawa volatil, serta memfasilitasi perpindahan senyawa fenolik dari kulit ke bagian daging buah. Proses yang rumit ini berperan dalam menciptakan ciri khas yang unik pada komoditas yang terfermentasi (González-Arenzana *et al.*, 2020).

2.3. Analisa Sensoris Sampel Kopi

Aspek sensoris merupakan hal terpenting dalam menilai kualitas produk kopi. Analisa kualitas sensoris biji kopi melibatkan analisis rasa dari biji sangrai yang diseduh. Seduhan yang berasal dari biji kopi Arabika dikenal dengan keasaman dan aroma buahnya, sedangkan seduhan dari biji Robusta cenderung didominasi oleh rasa pahit dan *body* yang kuat (Sunarharum *et al.*, 2014). Kopi hasil fermentasi *carbonic maceration* diuji sesuai prosedur *Specialty Coffee Association*. Setelah biji kopi disangrai selama 8 hingga 24 jam, kopi digiling hingga mencapai ukuran partikel antara 70 hingga 75% yang melewati saringan 20 mesh. Variabel yang digunakan pada analisis sensori deskriptif sesuai dengan protokol SCAA adalah aroma, rasa, *aftertaste*, keasaman, tubuh, keseimbangan, kemanisan, *clean cup*, keseragaman, *overall*, dan skor akhir (Junior *et al.*, 2021).

3. Hasil & Pembahasan

3.1. Metode Fermentasi Carbonic Maceration

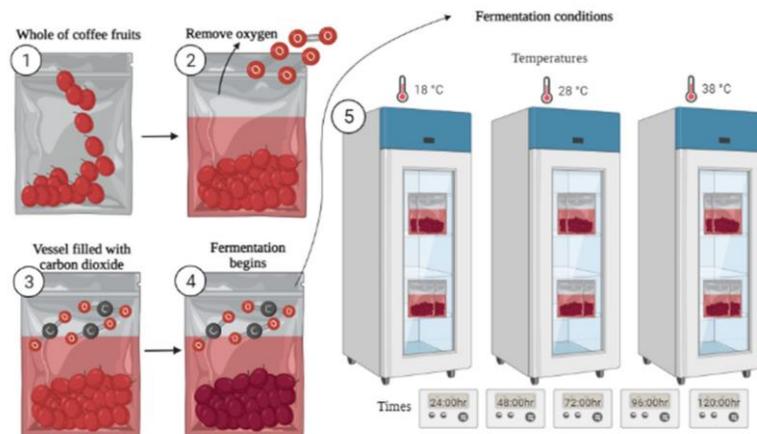
Fermentasi *carbonic maceration* dilakukan dalam kondisi lingkungan anaerob dan diperkaya dengan CO₂ (Jitjaroen *et al.*, 2023). Kondisi ini dapat diciptakan dengan memasukkan ceri kopi ke dalam sebuah wadah khusus seperti kantong plastik propilen. Di

dalam wadah ini, udara yang terkandung di dalamnya dihilangkan dengan menggunakan penyedotan atau proses vakum, sehingga menciptakan kondisi tanpa udara atau anaerobik. Setelah itu, karbon dioksida diinjeksikan ke dalam wadah tersebut untuk menciptakan lingkungan yang sepenuhnya terkonsentrasi CO₂ (Junior *et al.*, 2021). Sesuai dengan metode yang dikembangkan oleh Brioschi Junior *et al.*, kantong plastik tersebut kemudian diinkubasi selama 24 hingga 120 jam pada suhu antara 18 hingga 38°C (Gomes *et al.*, 2022). Selain penggunaan plastik propilen, *carbonic maceration* juga dapat dilakukan dengan menggunakan tangki tertutup yang diinjeksi dengan CO₂ (Hariyanto *et al.*, 2022). Metode fermentasi *carbonic maceration* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode Fermentasi *Carbonic Maceration* pada ceri kopi

No	Sampel	Perlakuan Fermentasi	Referensi
1	Ceri Kopi Arabika	Buah ceri kopi yang telah matang (2,6 kg) ditempatkan dalam kantong plastik propilen (40 cm × 50 cm, tebal 18 cm). <i>Vacuum sealer</i> (model ROBOTIC 900/1200 PLATES) digunakan untuk menghilangkan udara atmosfer selama 20 detik dan CO ₂ (kemurnian 99,9%) disuntikkan dengan tekanan 20 kgf cm ⁻² . Suhu fermentasi diatur pada 18, 28, dan 38°C dan periode inkubasi berlangsung hingga 120 jam.	Junior et al. (2021)
2	Ceri Kopi Robusta	Buah ceri kopi yang telah matang (240 kg) ditempatkan dalam kantong plastik propilen (40 cm × 50 cm, tebal 18 cm). <i>Vacuum sealer</i> (model ROBOTIC 900/1200 PLATES) digunakan untuk menghilangkan udara atmosfer dan CO ₂ (kemurnian 99,9%) disuntikkan dengan tekanan 20 kgf cm ⁻² . Suhu fermentasi diatur pada 18, 28, dan 38°C dan periode inkubasi berlangsung hingga 120 jam.	Gomes et al. (2022)
3	Ceri Kopi	Buah ceri kopi yang telah matang (25 kg) ditempatkan dalam tangki fermentasi dan ditutup rapat. Gas CO ₂ diinjeksikan ke dalam tangki.	Hariyanto et al. (2022)

Pengolahan ceri kopi dalam lingkungan modifikasi seperti pada Gambar 1 menghasilkan perubahan dalam komposisi kimia melalui tiga mekanisme yaitu keragaman mikroba, penyesuaian metabolisme mikroba, dan transformasi metabolisme biji kopi. Kondisi anaerobik membatasi pertumbuhan mikroba aerobik, tetapi ragi dan bakteri masih dapat bertahan. Anaerobik mendukung produksi etanol oleh ragi dan laktat oleh bakteri asam laktat (Kurniawan *et al.*, 2014). Jalur fermentasi ini dapat menghasilkan asam sitoplasma dan senyawa seperti etanol, alanin, malat, dan suksinat dari piruvat (Yin *et al.*, 2015).



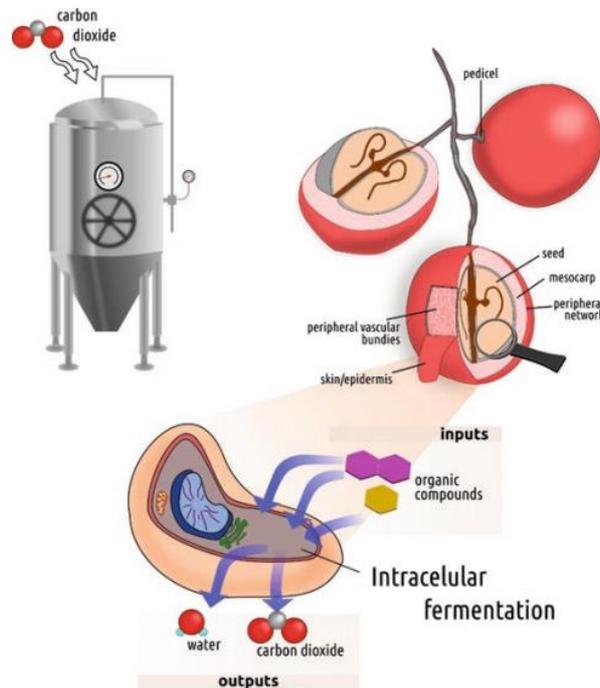
Gambar 1. Proses fermentasi *carbonic maceration*. Sumber: Gomes et al. (2022)

3.2. Mekanisme Fermentasi Kopi Carbonic Maceration

Pada fermentasi kopi dengan metode *carbonic maceration*, penting untuk menggunakan sistem fermentasi yang memungkinkan injeksi gas CO₂ seperti pada Gambar 2. Pada awalnya, ceri kopi menyerap gas CO₂ dan memulai proses fermentasi anaerob yang dapat mereduksi gula dalam buah kopi dan mengurangi keasaman. Sementara itu, antosianin dan tanin yang terdapat pada kulit akan masuk ke dalam daging buah. Hal tersebut menyebabkan perubahan warna menjadi warna merah muda atau ungu (Pereira & Moreira, 2021).

Penambahan gas CO₂ untuk menciptakan lingkungan kaya CO₂ yang bebas oksigen dapat mempengaruhi proses metabolisme ceri kopi. Konsentrasi CO₂ yang tinggi mengurangi aktivitas pernapasan biji kopi dan memperlambat proses pematangan. Keterlambatan dalam pematangan buah akan mengakibatkan durasi masa prafermentasi intraseluler yang lebih panjang. Metode ini juga mengakibatkan meningkatkan produksi alkohol dan terpenoid dan menurunkan produksi senyawa fenol volatil bebas, asam organik bebas, dan ester etil (Santin *et al.*, 2022). Selain itu, peningkatan CO₂ memengaruhi metabolisme ragi dengan merangsang proses respiro-fermentatif. Hal ini menyebabkan terjadinya pembentukan senyawa volatil melalui jalur Ehrlich, yang menghasilkan alkohol fusel, asam, dan aldehida (Zhang *et al.*, 2013). Namun, keberadaan asam asetat yang dihasilkan dari proses fermentasi dapat memberikan profil rasa yang tidak diinginkan (de Carvalho Neto *et al.*, 2017).

Durasi fermentasi dalam metode *carbonic maceration* sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan di mana proses tersebut dilakukan. Pada suhu yang lebih tinggi, fermentasi umumnya berlangsung lebih singkat, sementara pada suhu yang lebih rendah, waktu fermentasi cenderung lebih lama (Portu *et al.*, 2023). Proses fermentasi *carbonic maceration* dapat dilakukan dengan lama fermentasi minimal 4 hari fermentasi pada suhu konstan 36°C atau dapat juga dilakukan selama 6 hingga 8 hari fermentasi pada suhu 26°C (Pereira & Moreira, 2021). Memperpanjang durasi fermentasi lebih dari 96 jam dapat mengakibatkan peningkatan pembentukan asam format, lipid, kafein, dan senyawa fenol. Hal tersebut terjadi karena adanya pemecahan karbohidrat yang lebih banyak, aktivitas mikroba, dan perpindahan lipid dari bagian dalam ke permukaan biji kopi (Junior *et al.*, 2021).



Gambar 2. Mekanisme fermentasi *carbonic maceration*. Sumber: Pereira & Moreira (2021)

3.3. Analisis Sensori Kopi *Carbonic Maceration*

Analisis sensori merupakan pendekatan penting dalam mengevaluasi kualitas dan karakteristik citarasa produk kopi, termasuk kopi yang dihasilkan melalui metode fermentasi *carbonic maceration*. Salah satu metode yang digunakan untuk melakukan analisis sensori pada kopi adalah metode yang ditetapkan oleh *Specialty Coffee Association (SCAA)* (Adam *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil fermentasi kopi dengan metode *carbonic maceration* lebih disukai oleh panelis dan mendapatkan skor keseluruhan yang baik seperti yang tercantum pada Tabel 2. Variasi waktu dan suhu memengaruhi perubahan kimia pada sampel. Kualitas sensori meningkat seiring waktu dan suhu yang lebih lama. Seduhan kopi hasil fermentasi *carbonic maceration* menunjukkan nilai sensorik yang tinggi, melebihi 80 poin dan termasuk ke dalam kualifikasi kopi spesial. Suhu 38°C memberikan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan bakteri sejak awal fase fermentasi. Oleh karena itu, produksi metabolit rasa dari fermentasi berjalan dengan maksimal dan menghasilkan peningkatan atribut aroma dan *aftertaste* (Junior *et al.*, 2021). Perlakuan pada suhu 38°C selama 120 jam mencapai skor tertinggi, 83,25 poin (Gomes *et al.*, 2022). Kopi bubuk hasil fermentasi *carbonic maceration* juga lebih disukai dibandingkan dengan kopi bubuk yang diproses dengan *semi-carbonic* (Hariyanto *et al.*, 2022).

Tabel 2. Hasil Analisis Sensori Kopi Fermentasi *Carbonic Maceration*

No	Sampel	Hasil	Referensi
1	Ceri Kopi Arabika	Fermentasi dengan durasi yang lebih lama pada kondisi suhu tinggi menghasilkan seduhan kopi dengan skor global yang lebih tinggi dalam hal karakteristik sensorik. Inkubasi pada suhu 38°C selama 120 jam menghasilkan skor global tertinggi sebesar 85,15 dan mencerminkan kualitas biji kopi yang sangat baik.	Junior et al. (2021)
2	Ceri Kopi Robusta	Parameter waktu dan suhu berpengaruh nyata terhadap perubahan kimia pada sampel. Terdapat peningkatan kualitas sensori ketika waktu dan suhu yang digunakan semakin diperpanjang. Dalam penelitian ini, perlakuan dengan suhu 38°C selama 120 jam memperoleh skor lebih tertinggi yaitu sebesar 83,25 poin.	Gomes et al. (2022)
3	Ceri Kopi	Rasa dari kopi bubuk yang melalui proses fermentasi <i>carbonic maceration</i> lebih disukai oleh konsumen dengan skor rata-rata sebesar 4,58. Aroma dan karakteristik body juga lebih disukai dibandingkan dengan kopi yang diproses secara <i>semi-carbonic</i> .	Hariyanto et al. (2022)

Fermentasi metode *carbonic maceration* juga menghasilkan aroma yang unik pada kopi. Hal ini terjadi karena terdapat pembentukan senyawa-senyawa seperti ester, aldehida, alkohol, dan asam (Lee *et al.*, 2023). Senyawa-senyawa ini sangat mempengaruhi profil aroma dan rasa akhir dari produk, memberikan aroma buah-buahan segar, bunga, dan rempah-rempah yang khas. *Carbonic maceration* dapat menghasilkan aroma buah seperti stroberi, raspberry, ceri, dan pisang, yang menjadi ciri khas dari teknik ini (Gudi, 2017). Metode ini juga dapat meningkatkan aroma bunga (*floral*) dan buah (*fruity*) (Tong *et al.*, 2023). Oleh karena itu, metode ini sangat berpotensi untuk produsen kopi dalam meningkatkan citarasa kopi.

4. Kesimpulan

Pengaplikasian teknologi fermentasi *carbonic maceration* pada ceri kopi menunjukkan peningkatan kualitas citarasa kopi. Perubahan dalam kondisi fermentasi dan komposisi mikroorganisme memberikan pengaruh pada pembentukan senyawa kimia seperti asam-asam organik, alkohol, ester, kafein, asam format, lipid, dan fenol yang menyumbang pada keanekaragaman aroma dan rasa kopi. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan waktu dan suhu fermentasi dapat mempengaruhi secara signifikan karakteristik kualitas sensori kopi yang dihasilkan. Dengan demikian, teknologi fermentasi metode karbonik maserasi memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas citarasa kopi dengan menghasilkan varietas rasa dan aroma yang berbeda dari metode tradisional. Meskipun masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami secara menyeluruh mekanisme dan dampak yang terjadi selama proses ini, namun eksplorasi terhadap teknologi ini memberikan peluang bagi produsen kopi untuk menghasilkan produk yang lebih inovatif dan menarik bagi pasar yang semakin sadar akan eksplorasi kualitas kopi.

* Korespondensi : Rokhma Karynda P.M.  karyndamelati@gmail.com

Daftar Pustaka

- Adam, F., Agustina, R. and Fadhil, R., 2022. Pengujian cita rasa kopi arabika dengan metode cupping test. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1), pp.517-521.
- Andrade, C., Perestrelo, R. and Câmara, J.S., 2022. Bioactive compounds and antioxidant activity from spent coffee grounds as a powerful approach for its valorization. *Molecules*, 27(21), p.7504.
- de Carvalho Neto, D.P., de Melo Pereira, G.V., Tanobe, V.O., Thomaz Soccol, V., G. da Silva, B.J., Rodrigues, C. and Soccol, C.R., 2017. Yeast diversity and physicochemical characteristics associated with coffee bean fermentation from the Brazilian Cerrado Mineiro region. *Fermentation*, 3(1), p.11.
- Evangelista, S.R., Miguel, M.G.D.C.P., Silva, C.F., Pinheiro, A.C.M. and Schwan, R.F., 2015. Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 210, pp.102-112.
- Gudi, P. (2017). Carbonic Maceration (A unique way of coffee processing). p. 1–4.
- Gomes, W.D.S., Pereira, L.L., Filete, C.A., Moreira, T.R., Guarçoni, R.C., Catarina da Silva Oliveira, E., Moreli, A.P., Guimarães, C.V., Simmer, M.M.B., Júnior, V.L. and Romão, W., 2022. Changes in the Chemical and Sensory Profile of *Coffea canephora* var. Conilon Promoted by Carbonic Maceration. *Agronomy*, 12(10), p.2265.
- González-Arenzana, L., Santamaría, R., Escribano-Viana, R., Portu, J., Garijo, P., López-Alfaro, I., López, R., Santamaría, P. and Gutiérrez, A.R., 2020. Influence of the carbonic maceration winemaking method on the physicochemical, colour, aromatic and microbiological features of tempranillo red wines. *Food chemistry*, 319, p.126569.
- Hariyanto, B., Fanani, F. and Nugroho, S.E., 2022. Rekayasa Fermentasi Kopi An Aerobik dengan Metode Karbonik dan Semi Karbonik Maserasi. *Jurnal Pengembangan Potensi Laboratorium*, 1(2), pp.79-85.
- Jitjaroen, W., Kongngoen, R. and Panjai, L., 2023. Aroma profiles and cupping characteristics of coffee beans processed by semi carbonic maceration process. *Coffee Science-ISSN 1984-3909*, 18, pp.e 182119-e182119.
- Junior, D.B., Guarçoni, R.C., da Silva, M.D.C.S., Veloso, T.G.R., Kasuya, M.C.M., da Silva Oliveira, E.C., da Luz, J.M.R., Moreira, T.R., Debona, D.G. and Pereira, L.L., 2021. Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, 342, p.128296.
- Kurniawan, T.B., Bintari, S.H. and Susanti, R., 2014. Efek interaksi ragi tape dan ragi roti terhadap kadar bioetanol ketela pohon (*Manihot utilissima*, Pohl) varietas Mukibat. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 6(2), pp.128-136.
- Lee, B.H., Huang, C.H., Liu, T.Y., Liou, J.S., Hou, C.Y. and Hsu, W.H., 2023. Microbial Diversity of Anaerobic-Fermented Coffee and Potential for Inhibiting Ochratoxin-Produced *Aspergillus niger*. *Foods*, 12(15), p.2967.
- Pereira, L.L. and Moreira, T.R. eds., 2021. *Quality Determinants in Coffee Production*. Springer Cham.
- Purbasari, D., Setyawan, D.L., Hardiatama, I. and Trifiananto, M., 2021. Pendampingan Produksi Green Coffee dengan Metode Pengolahan Basah di Desa Sucopangepok Kabupaten Jember. *Jurnal Abdi Insani*, 8(1), pp.72-79.
- Portu, J., Gutiérrez-Viguera, A.R., González-Arenzana, L. and Santamaría, P., 2023. Characterization of the color parameters and monomeric phenolic composition of 'Tempranillo' and 'Graciano' wines made by carbonic maceration. *Food Chemistry*, 406,

p.134327.

- Santin, M., Brizzolara, S., Castagna, A., Ranieri, A., & Tonutti, P. (2022). Short-term CO₂ treatment of harvested grapes (*Vitis vinifera* L., cv. Trebbiano) before partial dehydration affects berry secondary metabolism and the aromatic profile of the resulting wine. *Plants*, 11, 1973.
- Sunarharum, W. B., & Farhan, M. (2020). Effect of manual brewing techniques on the sensory profiles of Arabica coffees (Aceh Gayo wine process and Bali Kintamani honey process). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 454, Article 012099
- Tong, W., Sun, B., Ling, M., Zhang, X., Yang, W., Shi, Y., Pan, Q., Duan, C. and Lan, Y., 2023. Influence of modified carbonic maceration technique on the chemical and sensory characteristics of Cabernet Sauvignon wines. *Food Chemistry*, 403, p.134341.
- Yin, X., Li, J., Shin, H.D., Du, G., Liu, L. and Chen, J., 2015. Metabolic engineering in the biotechnological production of organic acids in the tricarboxylic acid cycle of microorganisms: advances and prospects. *Biotechnology advances*, 33(6), pp.830-841.
- Zhang, B.-Y., Samapundo, S., Pothakos, V., Sürengil, G., & Devlieghere, F. (2013). Effect of high oxygen and high carbon dioxide atmosphere packaging on the microbial spoilage and shelf-life of fresh-cut honeydew melon. *International Journal of Food Microbiology*, 166, 378–390.