
Porositas Serbuk Jahe Merah (*Zingiber officinale* Roscae var. Rubrum) terhadap Variasi Suhu dan Kadar Gula Pasir

Kristin Valentina Sinabutar¹, Dessy Agustina Sari^{2*}

¹Universitas Singaperbangsa Karawang

Email: dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id

ABSTRACT

Ginger is one of Indonesia's most abundant and widespread cultivated plants and is widely used in people's daily lives as a raw material and additive in the manufacture of food and beverages. One type of ginger that is in great demand in the herbal beverage industry is red ginger. The bioactive compounds found in ginger include 6-gingerol, 6-paradol, 6-methylshogaol, 8-methylshogaol, 8-gingerol, 10-gingerol and 6-shogaol. Red ginger contains various bioactive compounds with pharmacological effects such as analgesic, anti-inflammatory, anti-cancer, antioxidant and cardiogenic effects. Scanning Electron Microscopy (SEM) is a microscopy technique used to produce high-resolution images of the surface of an electron sample. This study aimed to analyze the porosity of red ginger powder against variations in temperature and sugar content. The temperatures were 80 and 90°C with a sugar content of 60 and 100%. The results showed that the increase and decrease in the percentage of porosity values were caused by differences in temperature variations applied to the crystallization process. The rate of red ginger powder's porosity that approaches the fresh red ginger rate is red ginger powder at 80°C and 60% crystallization agent. The research results contributed to the characteristics of the materials used and the development of red ginger drink powder products.

Keywords: crystallization, crystallization agent, evaporation, ginger extract, origin lab.

INTISARI

Jahe merupakan salah satu tanaman budidaya paling melimpah dan tersebar luas di Indonesia serta banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat sebagai bahan baku dan bahan tambahan dalam pembuatan makanan dan minuman. Salah satu jenis jahe yang banyak diminati dalam industri minuman herbal adalah jahe merah. Senyawa bioaktif yang ditemukan dalam jahe antara lain 6-gingerol, 6-paradol, 6-methylshogaol, 8-methylshogaol, 8-gingerol, 10-gingerol dan 6-shogaol. Jahe merah yang mengandung berbagai senyawa bioaktif dengan efek farmakologis seperti analgesik, anti-inflamasi, anti-kanker, antioksidan, dan efek kardiogenik. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan teknik mikroskop yang digunakan untuk menghasilkan gambar permukaan sampel elektron dengan resolusi tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis porositas serbuk jahe merah terhadap variasi suhu dan kadar gula pasir. Suhu yang digunakan adalah 80 dan 90°C dengan kadar gula pasir 60 dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan dan penurunan persentase nilai porositas yang disebabkan oleh perbedaan variasi suhu yang diterapkan pada proses kristalisasi. Persentase porositas serbuk jahe merah yang mendekati persentase porositas jahe merah segar adalah serbuk jahe merah pada suhu 80°C dan 60% agen kristalisasi. Hasil dari penelitian mampu memberikan kontribusi atas karakteristik bahan yang digunakan dan pengembangan produk serbuk minuman jahe merah.

Kata kunci: agen kristalisasi, ekstrak jahe, evaporasi, kristalisasi, origin lab.

PENDAHULUAN

Jahe merah (*Zingiber officinale*) merupakan tanaman rimpang yang banyak dibudidayakan di berbagai negara seperti India, Cina, Australia, Nigeria dan negara lainnya (Onu & Okafor, 2002). Jahe juga merupakan salah satu tanaman yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat Indonesia sebagai bahan baku dan bahan tambahan dalam pembuatan makanan dan minuman. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik tahun 2021, produksi tanaman jahe merah di Indonesia mencapai 300.000 ton per tahun, naik dua kali lipat dibanding tahun-tahun sebelumnya (Badan Pusat Statistik, 2021). Di Indonesia, jahe merah diklasifikasikan ke dalam spesies yang berbeda menurut ukurannya, yaitu jahe emprit, jahe gajah dan jahe merah (Anwar & Azizah, 2020; Iqbal et al., 2024). Salah satu jenis jahe yang banyak dicari dalam industri minuman herbal adalah

jahe merah. Masyarakat Indonesia umumnya menerapkan budidaya sebagai bentuk kemandirian ekonomi lokal dengan memanfaatkan pupuk olahan dan pekarangan sekitar (Fardiensyah et al., 2023; Fauzia et al., 2023; Sari et al., 2021, 2021, 2023; Sari & Sukanta, 2020; Wagiono et al., 2020).

Jahe merah adalah varietas jahe dengan warna merah kecoklatan yang mengandung senyawa kimia seperti minyak atsiri, minyak non-volatil dan pati. Jahe merah memberikan aroma dan rasa yang kuat dan berperan sebagai anti mual dan memberikan rasa pahit dan pedas yang kuat (Asyafa & Sari, 2023; Siswantito et al., 2023; Tritanti & Pranita, 2018). Jahe merah mengandung berbagai senyawa bioaktif dengan efek farmakologis seperti analgesik, anti-inflamasi, anti-kanker, antioksidan, dan efek kardiotonik (Salmon et al., 2012; Sari et al., 2024). Senyawa bioaktif yang ditemukan dalam jahe antara lain 6-gingerol, 6-paradol, 6-methylshogaol, 8-methylshogaol, 8-gingerol, 10-gingerol dan 6-shogaol. Senyawa ini memiliki efek antioksidan dan dapat memberikan manfaat kesehatan bila digunakan dengan benar (Nagendra chari et al., 2013).

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan teknik mikroskop elektron yang digunakan untuk menghasilkan gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi. Teknik ini menggunakan elektron yang diarahkan ke sampel dan menghasilkan sinyal yang digunakan untuk membuat gambar permukaan sampel dalam skala nanometer. SEM digunakan dalam berbagai bidang, termasuk ilmu material, biologi, dan ilmu lingkungan (Pereira-da-Silva & Ferri, 2017). Uji SEM ini dilakukan untuk mengamati struktur mikro, ukuran partikel, dan porositas (Zhao et al., 2010) pada sampel serbuk jahe merah sebelum dan sesudah diberi perlakuan suhu dan kadar gula pasir. Peneliti (Kurniyanto & Sari, 2023) juga telah meninjau porositas serbuk jahe merah dengan agen kristalisasi berupa gula batu.

Pada uji SEM diamati porositas serbuk jahe merah pada pengujian tersebut. Porositas adalah ukuran dari jumlah ruang kosong atau pori-pori dalam suatu bahan yang mengacu pada rasio volume pori terhadap volume total bahan. Porositas dapat mempengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik bahan, seperti kekuatan, kepadatan, dan kemampuan bahan untuk menyerap air atau zat lainnya. Proses kristalisasi membentuk serbuk yang pembentukannya dapat memperpanjang umur simpan dari sebuah produk (Suhag et al., 2018). Porositas serbuk jahe merah disebabkan oleh proses kristalisasi yang terjadi pada saat pembuatan serbuk. Proses kristalisasi membentuk serbuk yang berperan dalam memperpanjang umur simpan produk pascapanen jahe merah (Sari & Hadiyanto, 2013; Ulfa et al., 2022).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis porositas serbuk jahe merah terhadap variasi suhu dan kadar gula pasir. Suhu yang digunakan adalah 80 dan 90°C serta kadar gula pasir 60 dan 100%. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu memahami karakteristik bahan yang digunakan dan memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan produk minuman serbuk jahe merah.

METODE

Preparasi Sampel

Sampel serbuk jahe merah didapatkan dari hasil ekstrak serbuk jahe merah. Terdapat 5 sampel yang akan diuji yaitu 1 sampel berupa potongan jahe merah kering dipotong ukuran setiap sisi 1 x 1 cm dan ketebalan 1 cm, 4 sampel ekstrak serbuk jahe dengan variasi suhu dan kadar gula pasir yang berbeda. Massa masing-masing sampel serbuk jahe merah yang akan diuji adalah 10 gram per sampel.

Kristalisasi adalah proses pembentukan kristal dari suatu zat yang awalnya berupa larutan atau cairan. Proses ini terjadi ketika suatu zat mengalami pendinginan atau penguapan yang menyebabkan partikel mulai saling berikatan dan membentuk struktur kristal yang teratur. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kristalisasi adalah suhu, konsentrasi dan kecepatan pengadukan (RW Hartel, 2019).

Semakin rendah suhu yang digunakan pada proses ini, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk proses kristalisasi terjadi. Sedangkan pada suhu yang lebih tinggi, kristalisasi terjadi lebih cepat, tetapi dapat menghasilkan kristal yang lebih kecil dan kurang teratur (Pontoh et al., 2012). Semakin tinggi konsentrasi, semakin cepat kristalisasi terjadi. Namun, jika konsentrasi terlalu tinggi, kristal yang dihasilkan dapat menjadi tidak stabil dan mudah pecah (Fachry et al., 2008). Semakin cepat laju penguapan, maka semakin kecil kristal yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin lambat proses penguapan, maka semakin besar kristal yang dihasilkan (Mohammed & Abdullah, 2018).

Pengujian Sampel

Karakteristik morfologi serbuk jahe merah dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), JSM-6510 SEM (JEOL Ltd. Boston) pada tegangan 20 kV dengan jarak kerja 10 mm dan

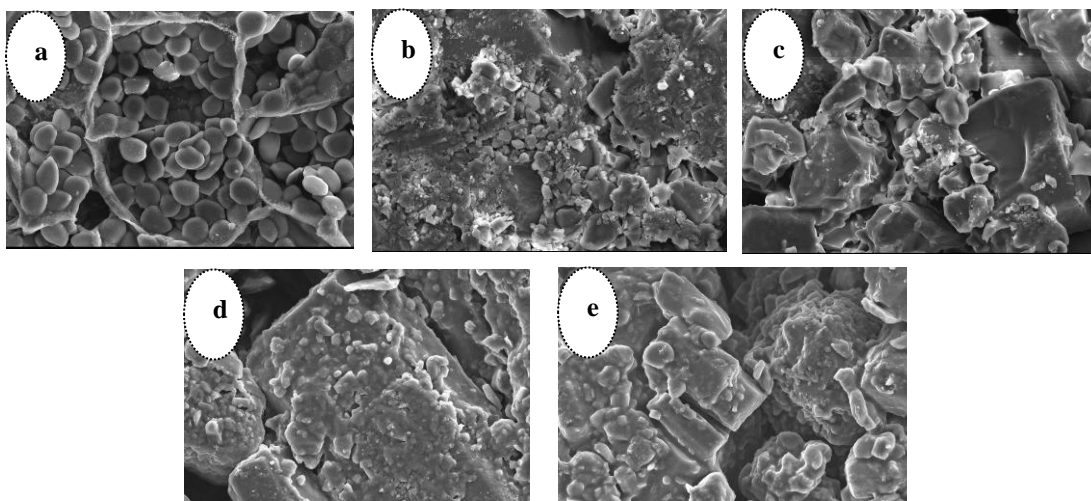
perbesaran 500x. Alat penganalisis komposisi kimia berupa detektor sinar-X. Elektron akan diarahkan ke dalam sampel dan menghasilkan sinyal yang digunakan untuk membuat citra nanometer dari permukaan sampel (Fachry et al., 2008). Sumber elektron menghasilkan elektron dan mengalir ke sampel dengan kolom elektron. Ketika elektron bertabrakan dengan sampel dan menghasilkan sinyal yang dapat ditangkap oleh detektor. Detektor kemudian mengubah sinyal menjadi sinyal listrik yang dikirim ke sistem kontrol elektronik. Sistem kontrol kemudian memproses sinyal listrik menjadi gambar dan grafik yang dapat dianalisis. Sinyal yang dihasilkan dalam SEM dapat berupa elektron sekunder, elektron pantulan, dan sinar-X, yang dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis pola permukaan, struktur, dan komposisi kimia sampel (Khalifah et al., 2022). Informasi yang didapatkan dari SEM berupa morfologi, ukuran partikel, porositas, dan struktur permukaan sampel (Zhao et al., 2010).

Pengolahan Data

Analisis hasil penelitian dilakukan dengan melihat hubungan antara perlakuan terhadap parameter variasi suhu dan kadar gula pasir yang diuji. Data yang diperoleh diolah dan dianalisis dengan menggunakan program Origin Lab 2019. Hasil tersebut diproses selanjutnya dengan menggunakan Microsoft Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serbuk jahe merah yang telah diuji melalui SEM ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1.a menunjukkan bahwa sampel jahe merah tanpa adanya perlakuan suhu dan kontribusi gula pasir. Penampilannya mengindikasikan adanya bulatan yang lebih halus dibandingkan hasil SEM pada sampel Gambar 1.b hingga 1.e



Gambar 1. Porositas produk serbuk jahe merah

Empat sampel sisanya menampilkan struktur mikro serbuk jahe merah berupa kristal-kristal kecil yang saling menempel akibat variabel proses yang diberikan. Kehadiran struktur tersebut disebabkan adanya proses pengentalan selama waktu proses dan dilanjutkan keberadaan proses kristalisasi. Proses yang terakhir mampu memberikan distribusi ukuran kristal pada permukaan berubah yang menunjukkan warna putih keabu-abuan. Bagian yang berwarna hitam menunjukkan struktur mikro pada serbuk jahe merah memiliki rongga atau dikenal sebagai porositas. Produk bubuk pasca proses kristalisasi turut mendapatkan proses lanjutan berupa penghalusan untuk menyeragamkan ukuran serbuk (Sari et al., 2021, 2023).

Ruang kosong atau porositas dari hasil uji SEM pada perbesaran 500x mampu memberikan hasil porositas sebesar 66,773 (tanpa perlakuan); 53,079 - 59,007 (suhu 80°C) serta 53,537 – 53,577% (kondisi 90°C) untuk setiap penurunan kadar gula pasir secara berturut-turut. Suhu 80°C selama proses evaporasi dan kristalisasi berlangsung mampu memberikan perbedaan nilai porositas kristal yang terbentuk. Kenaikan suhu menghasilkan kristal yang lebih kecil dan terkesan tidak merata. Suhu 90°C di kedua kadar gula pasir menghasilkan porositas yang mendekati serupa dengan suhu 80°C pada 100% agen kristalisasi. Sisi lain, kebutuhan energi panas selama kedua proses berlangsung akan menghubungkan waktu produksi yang dibutuhkan antara 80°C pada 100% kadar

gula pasir yang diumpangkan terhadap suhu 90°C di kedua variasi agen kristalisasi. Capaian optimum dari (Kurniyanto & Sari, 2023) adalah suhu proses evaporasi-kristalisasi dan gula batu sebagai agen kristalisasi pada 90°C dan 100%. Porositas yang dimiliki atas produk tersebut sebesar 68,03 dan 76,48% dengan bahan baku segar – ampas secara berturut-turut.

Variabel suhu yang lebih rendah memberikan pembentukan kristal yang cenderung berukuran lebih kecil dan juga memadat. Suhu sebaliknya, produknya lebih berkristal dengan ukuran lebih besar dan longgar. Kuantitas temperatur memberikan pengaruh pada sisi pola kristalisasi (Tyapkova et al., 2012). Peningkatan suhu menyebabkan perluasan dan ekspansi material sehingga porositas turut membesar. Kemudian, penurunan suhu sebaliknya yaitu menyebabkan kontraksi bahan dan mereduksi porositas (P & S, 2014; Tonon et al., 2010).

Keterlibatan peran gula pasir sebagai agen kristalisasi mengarah kepada ukuran, bentuk, dan distribusi produk kristal. Konsentrasi gula pasir yang lebih meningkat mampu menghasilkan kristal yang lebih besar dan padat serta fenomena sebaliknya untuk penurunan peran gula pasir pasca proses kristalisasi (Queiroz et al., 2022). Agen kristalisasi menjadi perantara dalam proses pembentukan kristal atau mengisi ruang kosong pada bahan baku selama proses evaporasi berlangsung dengan cara mengurangi porositas yang dimilikinya. Ragam produk kristal memiliki ketergantungan pada jenis agen kristalisasi dan kondisi operasi yang diterapkan selama proses evaporasi hingga kristalisasi tercapai (Iqbal et al., 2024; Quintas et al., 2007; Suhag et al., 2018).

KESIMPULAN

Dari kegiatan penelitian serbuk jahe merah dapat disimpulkan bahwa kondisi suhu 80°C dengan kadar gula pasir maksimal mampu bersaing dengan keterlibatan suhu 90°C di kedua variasi agen kristalisasi (60 dan 100%) selama proses evaporasi dan kristalisasi berlangsung. Porositas di kedua suhu proses memberikan kisaran $53,328 \pm 0,249\%$. Peran suhu proses dan jenis agen kristalisasi dapat menjadi peran keberlanjutan dalam memproduksi serbuk jahe merah. Hal ini memberikan dampak pada ukuran dan kepadatan produk kristal pasca melalui proses evaporasi dan kristalisasi dengan kondisi operasi yang dijalankan selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, N. H., & Azizah, N. (2020). Respon pertumbuhan dan hasil tanaman jahe merah (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*) pada berbagai jenis dan komposisi media tanam substrat. *Plantropica: Journal of Agricultural Science*, 5(1), 37–42. <https://doi.org/10.21776/ub.jpt.2020.005.1.5>
- Asyafa, A. C., & Sari, D. A. (2023). Effect of process temperature and percentage of rock sugar on the functional group intensity of red ginger extract. *International Journal of Basic and Applied Science*, 12(3), 92–99.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Produksi tanaman biofarmaka menurut provinsi dan jenis tanaman*. <https://www.bps.go.id/indicator/55/63/1/produksi-tanaman-biofarmaka-obat-.html>
- Fachry, A. R., Tumanggor, J., & L, N. P. E. Y. (2008). Pengaruh waktu kristalisasi dengan proses pendinginan terhadap pertumbuhan kristal amonium sulfat dari larutannya. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 9–16.
- Fardiansyah, M. I., Sari, D. A., Firdaus, M. A., & Ulfa, V. S. (2023). Pengembangan label kemasan botol pada produk bubuk jahe merah. *Martabe: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(9), 3033–3038. <https://doi.org/10.31604/jpm.v6i9.3033-3038>
- Fauzia, F., Kamil, M. I., Savitri, M. D., Dhiya, S., Suherman, M., Ratnasari, Y., Malik, L. A., Marendra, A. G., Wibowo, L. K., Sinabutar, K. V., Sari, D. A., Hasyim, M., & Sukanta, S. (2023). Strategi usaha mikro kecil menengah (UMKM) kuliner lokal dalam menghadapi kompetisi global. *Martabe: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(8), 2977–2985. <https://doi.org/10.31604/jpm.v6i8.2977-2985>
- Hartel, R. W. (2019). *Crystallization in foods. Handbook of industrial crystallization* (3rd ed, pp. 460–478). Cambridge University Press.
- Iqbal, M., Sari, D. A., Saputro, N., Sukanta, S., & Hasyim, M. (2024). Proximate, total phenolic, carotenoid, antioxidant activity, color, and FTIR analysis of red ginger powders (*Zingiber officinale* var. *Rubrum*) through the evaporation-crystallization process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1324(012129), 1–13. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1324/1/012129>
- Khalifah, S. N., Tyas, U., Fiddaroini, S., & Amalia, S. (2022). Pengaruh pemeraman dan suhu pada sintesis zeolit Y dari lumpur. *Alchemy: Journal of Chemistry*, 10(1), 27–32. <https://doi.org/10.18860/al.v10i1.17334>

- Kurniyanto, V. E., & Sari, D. A. (2023). Porositas produk olahan jahe merah terhadap variasi suhu evaporasi- kristalisasi dan persentase gula batu. *Jurnal Teknologi*, 16(2), 146–152. <https://doi.org/10.34151/jurtek.v16i2.4548>
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). Scanning electron microscopy (SEM): A review. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulic and Pneumatics*, 77–85.
- Nagendra chari, K. L., Manasa, D., Srinivas, P., & Sowbhagya, H. B. (2013). Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Food Chemistry*, 139(1–4), 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.099>
- Onu, L. I., & Okafor, G. I. (2002). Effect of physical and chemical factor variations on the efficiency of mechanical slicing of Nigerian ginger (*Zingiber officinale* Rose). *Journal of Food Engineering*, 56(1), 43–47. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00146-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00146-2)
- P, W., & S, W. (2014). Effect of sugar types on physical attributes and crystalline structure of sweet-dried chicken meat product. *International Food Research Journal*, 216, 2285–2291.
- Pereira-da-Silva, M. de A., & Ferri, F. A. (2017). Scanning electron microscopy. In *Nanocharacterization Techniques: Vol. Micro and Nano Technologies* (1st ed, pp. 1–35). Elsevier.
- Pontoh, J., Mirah, G., Karundeng, P., & Kamuh, D. V. (2012). Metode analisa dextran dalam nira dan gula aren. *Buletin Palma*, 13(2), 109–114.
- Queiroz, M. B., Sousa, F. R., Silva, L. B. D., Alves, R. M. V., & Alvim, I. D. (2022). Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization. *LWT*, 154(112685), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112685>
- Quintas, M., Guimarães, C., Baylina, J., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2007). Multiresponse modelling of the caramelisation reaction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(2), 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.02.002>
- Salmon, C. N. A., Bailey-Shaw, Y. A., Hibbert, S., Green, C., Smith, A. M., & Williams, L. A. D. (2012). Characterisation of cultivars of Jamaican ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HPTLC and HPLC. *Food Chemistry*, 131(4), 1517–1522. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.115>
- Sari, D. A., & Sukanta, S. (2020). Pendampingan peningkatan ekonomi warga kabupaten karawang melalui budidaya tanaman jahe merah. *Prosiding Seminar Nasional Rekarta 2020*, 91–97. <https://doi.org/10.36765/semarta.v0i0.292>
- Sari, D. A., Sukanta, S., Saputro, N. W., Hasyim, M., & Fardiansyah, M. I. (2023). Transformasi sistem pengadukan dalam produksi serbuk jahe merah. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)*, 6(2), 430–439. <https://doi.org/10.33474/jipemas.v6i2.19130>
- Sari, D. A., Saputro, N. W., Ulfa, V. S., Sukanta, S., Wagiono, W., & Hasyim, M. (2024). Utilization of ginger and its waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1324(012125), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1324/1/012125>
- Sari, D. A., Sukanta, S., Saputro, N. W., Hasyim, M., & Fitriah, F. (2023). Ekstensifikasi tahap akhir bagi umkm jahe merah (size reduction pasca proses kristalisasi). *Martabe: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(9), 3139–3146. <https://doi.org/10.31604/jpm.v6i9.3139-3144>
- Sari, D. A., Sukanta, S., Wagiono, W., & Irawan, A. (2021). Peningkatan produksi bubuk jahe merah melalui introduksi sistem penghalusan. *Jurnal Masyarakat Mandiri*, 5(2), 615–623. <https://dx.doi.org/10.31764/jmm.v5i2.4104>
- Sari, D., & Hadiyanto, H. (2013). Teknologi dan metode penyimpanan makanan sebagai upaya memperpanjang shelf life. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(2), 52–59.
- Siswantito, F., Nugroho, A. N. R., Iskandar, R. L., Sitanggang, C. O., Al-Qordhiyah, Z., Rosidah, C., Nurhayati, S., & Sari, D. A. (2023). Produksi minyak atsiri melalui ragam metode ekstraksi dengan bahan baku jahe. *Inovasi Teknik Kimia*, 8(3), 178–184. <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v8i3.8072>
- Suhag, Y., Nayik, G. A., & Nanda, V. (2018). Modelling of moisture sorption isotherms and glass transition temperature of spray-dried honey powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2553–2560. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9872-7>
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907–914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>
- Tritanti, A., & Pranita, I. (2018). The making of red ginger (*Zingiber officinale* rovb. Var. Rubra) natural essential oil. *Journal of Physics: Conference Series*, 1273(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1273/1/012053>

- Tyapkova, O., Bader-Mittermaier, S., & Schweiggert-Weisz, U. (2012). Factors influencing crystallization of erythritol in aqueous solutions: A preliminary study. *Journal of Food Research*, 1(4), 207–217. <https://doi.org/10.5539/jfr.v1n4p207>
- Ulfa, V. S., Fardiansyah, M. I., Firdaus, M. A., & Sari, D. A. (2022). Peran transformasi kemasan pada produk bubuk jahe merah (botol ke standing pouch). *Jurnal Qardhul Hasan: Media Pengabdian kepada Masyarakat*, 8(2), 1–7.
- Wagiono, W., Sari, D. A., Miledhiya, S. A., Fitria, I. A., Sidabutar, K. V., Kamil, M. I., & Fadzrin, A. G. M. (2020). Pengaruh pemberian kombinasi pupuk organik dan anorganik terhadap keragaan pertumbuhan dan tanaman jahe merah (*Zingiber officinale* Rubrum) di kecamatan Majalaya kabupaten Karawang. *Jurnal Agrotek Indonesia*, 2(5), 41–46.
- Zhao, X., Ao, Q., Du, F., Zhu, J., & Liu, J. (2010). Surface characterization of ginger powder examined by X-ray photoelectron spectroscopy and scanning electron microscopy. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 79(2), 494–500. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.05.019>