JURPIKAT (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)
Vol. 7 No. 4 (2026) pp. 3073-3082
https://jurnal.politeknik-kebumen.ac.id/index.php/jurpikat
p-ISSN : 2746-0398 e-ISSN : 2746-038X

Pemberdayaan Petani Wanita Krisan melalui Edukasi Kesehatan dan Diversifikasi Produk Berbasis Bunga Lokal: Minuman *Effervescent* E-Krisa di Bandungan, Kabupaten Semarang

Endang Diyah Ikasari[1], Endang Dwi Wulansari[2*], Ebta Narasukma Anggraeny[3], Ungsari Rizki Eka Purwanto[4], Meysiska Trinaningtyas[5], Anggarda Paramita Sutrisno[6]
[1,3] Program Studi Profesi Apoteker, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi, Indonesia, 50192
[2,4,5,6]Program Studi Farmasi, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi, Indonesia, 50192

E-mail:* dewi.ung@gmail.com
Doi : https://doi.org/10.37339/jurpikat.v7i4.3558

Info Artikel:
Diterima :
2026-09-24

Diperbaiki :
2026-09-26

Disetujui :
2026-09-29

Kata Kunci: *Effervescent*, Krisan, Bandungan, Minuman, Edukasi, Produk

Abstrak: Bandungan menjadi daerah penghasil bunga krisan potong Jawa Tengah yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi beragam produk berbahan baku krisan, salah satunya minuman *effervescent*. Kelompok Wanita Tani (KWT) Sido Mukti menjadi mitra dalam kegiatan pengabdian dengan fokus pada peningkatan pemahaman dan pelatihan pembuatan *effervescent* E-Krisa dan edukasi kesehatan dengan tema SEHAT. Sejumlah 26 anggota KWT mengikuti kegiatan berupa pemaparan materi, edukasi kesehatan dan senam sehat. Evaluasi kegiatan berupa pre test dan post test, dengan hasil evaluasi terdapat peningkatan skor 79,23 menjadi 92,69. Sebanyak 6 peserta (23%) dengan skor tetap atau turun (≤ 0), 3 responden (12%) mengalami peningkatan skor rendah (1-10%), 11 responden (42%) mengalami peningkatan skor sedang (11-20%) dan 6 responden (23%) menunjukkan peningkatan skor tinggi (> 20%). Kegiatan pengabdian ini menunjukkan peningkatan pengetahuan tentang potensi krisan dan pemahaman kesehatan. Inovasi pembuatan minuman *effervescent* E-Krisa memberikan alternatif diversifikasi produk krisan dari yang sudah ada sebelumnya.

Abstract: *Bandungan is an area that produces Central Java cut chrysanthemums which has the potential to be developed into a*

variety of products made from chrysanthemums, one of which is effervescent drinks. The Sido Mukti Farmer Women Group (KWT) became a partner in service activities with a focus on increasing understanding and training in the manufacture of effervescent E-Krisa and health education with the theme SEHAT. A total of 26 KWT members participated in activities in the form of material presentations, health education and healthy gymnastics. The evaluation of activities was in the form of pre test and post test, with the results of the evaluation there was an increase in the score of 79.23 to 92.69. As many as 6 participants (23%) with a fixed or lower score (≤ 0), 3 respondents (12%) experienced an increase in low scores (1-10%), 11 respondents (42%) experienced an increase in moderate scores (11-20%) and 6 respondents (23%) showed an increase in high scores (> 20%). This service activity showed an increase in knowledge about the potential of chrysanthemums and health understanding. E-Krisa's innovation in making effervescent beverages provides an alternative to diversifying chrysanthemum products from the existing ones.

Keywords: *Effervescent, Chrysanthemum, Bandungan, Beverage, Education, Products*

Pendahuluan

Kecamatan Bandungan, Kabupaten Semarang, merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi hortikultura unggulan, termasuk komoditas bunga krisan (*Chrysanthemum* sp.) dengan dukungan berupa daerah yang cukup basah karena curah hujan yang cukup tinggi (Kabupaten Semarang, 2025). Data menunjukkan bahwa Kecamatan Bandungan merupakan penghasil krisan utama Jawa Tengah, nomor dua setelah Jawa Barat secara nasional (Ningsih dkk., 2026). Bandungan berkontribusi besar terhadap hasil krisan Kabupaten Semarang dan menjadi salah satu wilayah penting dalam pengembangan krisan sebagai komoditas bunga potong dengan produksi sampai dengan 466 juta tangkai pada tahun 2023 (Sanjaya dkk., 2025). Potensi hasil tanam yang besar tersebut menunjukkan bahwa sumber daya lokal yang dapat dikembangkan tidak hanya sebagai komoditas florikultura (Khoiruttoriqoddin dkk., 2022; Lestariningsih dkk., 2018) , tetapi juga sebagai bahan baku produk yang bernilai tambah. Namun, pemanfaatan krisan di masyarakat masih berfokus pada bunga segar sebagai tanaman hias, sehingga diperlukan pendekatan diversifikasi yang mampu meningkatkan nilai ekonomi krisan sekaligus memperluas peluang usaha masyarakat. Kondisi tersebut menjadi semakin penting dalam pemberdayaan petani wanita, karena keterlibatan perempuan dalam pengolahan hasil pertanian dapat membuka ruang bagi peningkatan keterampilan, diversifikasi sumber pendapatan, dan penguatan peran ekonomi kelompok masyarakat berbasis potensi lokal.

Diversifikasi krisan menjadi produk pangan dan minuman memiliki dasar ilmiah yang cukup kuat. Sejumlah spesies krisan telah lama dimanfaatkan sebagai bahan teh atau minuman tradisional, khususnya *Chrysanthemum morifolium (Nurhalimah dkk., 2026)*. Telah dilaporkan bahwa krisan mengandung berbagai kandungan senyawa bioaktif, seperti flavonoid, fenolik, terpenoid, alkaloid, polisakarida, dan derivat asam organik (Chen dkk., 2023) . Bunga krisan kaya akan senyawa fenolik yang merupakan senyawa yang memiliki potensi biologis terutama sebagai antioksidan (Dolongtelide dkk., 2023; Fauziah dkk., 2026; Ikromi & Suryani, 2025) dan antiinflamasi (Li dkk., 2019). Berbagai produk teh krisan juga menunjukkan keberadaan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan, ekstrak air krisan menunjukkan kemampuan menekan ekspresi mediator inflamasi secara *in vitro*. Dengan demikian, pemanfaatan bunga krisan sebagai bahan dasar minuman tidak hanya memberikan nilai tambah ekonomi, tetapi juga sejalan dengan perkembangan pemanfaatan bahan alam sebagai sumber pangan dan minuman berbasis senyawa bioaktif.

Meski demikian, potensi tersebut belum otomatis menghasilkan peningkatan nilai ekonomi bagi petani apabila tidak disertai dengan formulasi dan pengembangan produk. Bunga krisan sebagai bahan baku segar memiliki keterbatasan dalam hal daya simpan, sedangkan pengolahan menjadi produk dengan bentuk yang lebih praktis dapat memperluas peluang pemanfaatannya. Salah satu bentuk diversifikasi yang dikembangkan dalam kegiatan pengabdian ini adalah E-KRISA, yaitu minuman *effervescent* berbasis bunga krisan lokal. Telah dilakukan pengenalan berbagai produk berbahan baku bunga krisan, namun bentuk *effervescent* dipilih karena menawarkan karakter produk yang praktis, mudah disajikan, memiliki daya tarik sensori (Gopinath Vanhere dkk., 2023), serta dapat menjadi alternatif inovasi dibandingkan pemanfaatan krisan dalam bentuk seduhan konvensional. Pengembangan produk ini sekaligus menjadi media transfer teknologi sederhana kepada kelompok petani wanita, mulai dari pengolahan bahan baku, formulasi, pembuatan, dan pengemasan produk. Berdasarkan kondisi tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan dengan fokus pemberdayaan petani wanita krisan melalui diversifikasi produk berbasis bunga lokal dengan mengembangkan minuman *effervescent* E-Krisa di Bandungan, Kabupaten Semarang. Kegiatan ini diarahkan untuk menjembatani potensi hasil tanam bunga krisan dengan kebutuhan peningkatan nilai tambah melalui produk minuman oleh kelompok masyarakat.

Selain berfokus pada pembuatan produk, sebagai wanita yang berperan sebagai ibu rumah tangga serta petani krisan, kesehatan merupakan hal penting yang

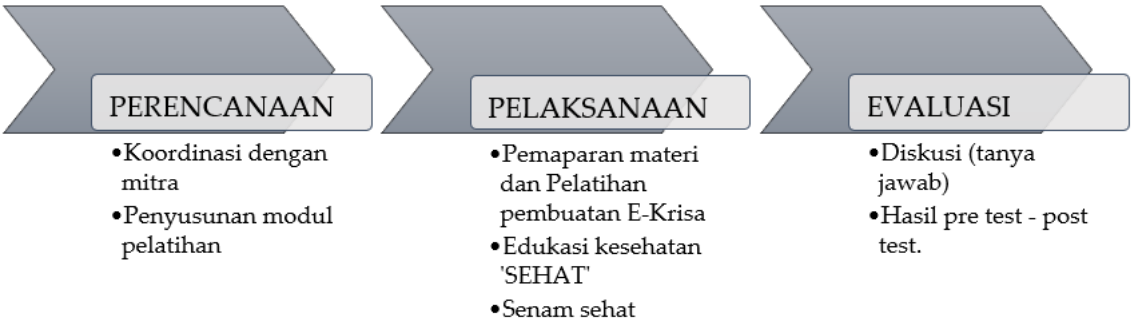
harus diperhatikan. kegiatan pengabdian berupa edukasi kesehatan bagi petani wanita krisan dilakukan. Edukasi mengenai gizi seimbang dan pola hidup sehat bagi petani wanita krisan, disampaikan melalui konsep SEHAT, yaitu Seimbangkan gizi harian, Enyah lemas, Hidrasi yang cukup, Asupan kalsium, dan Tambahkan E-Krisa sebagai sumber antioksidan tambahan. Perubahan sosial yang diharapkan tidak berhenti , tetapi berkembang menjadi perubahan pola pikir dan kapasitas kelompok, dari bahan baku menjadi pengembangan produk berbasis sumber daya lokal. Dalam jangka lebih panjang, kegiatan diharapkan dapat mendukung terbentuknya kelompok petani wanita yang lebih mandiri dalam diversifikasi usaha, sehat dan dapat memperkuat peran perempuan dalam aktivitas ekonomi, serta membuka peluang usaha berbasis potensi lokal.

Metode

Kegiatan pengabdian diawali dengan koordinasi dengan Kelompok Wanita Tani (KWT) Sido Makmur Desa Jurang, Kenteng, Bandungan. Pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat sebelumnya di lokasi yang sama telah dilakukan edukasi dan penyuluhan tentang pengembangan bunga krisan dalam bentuk lulur, teh celup, serta selai *jelly* (Ikasari dkk., 2025) . Sehingga dalam kegiatan ini dilakukan pembuatan minuman *effervescent* E-Krisa dan edukasi kesehatan untuk ibu-ibu KWT Sido Makmur. Kegiatan bertempat di desa Jurang, Kenteng, Bandungan pada bulan Juli 2026.

Pemaparan materi tentang kandungan, manfaat, serta pembuatan minuman *effervescent* dari krisan disampaikan kepada ibu-ibu anggotan KWT. Video pembuatan minuman *effervescent* serta evaluasi produk sederhana ditayangkan dalam pemaparan. Edukasi kesehatan dengan tema SEHAT, yaitu Seimbangkan gizi harian, Enyah lemas, Hidrasi yang cukup, Asupan kalsium, dan Tambahkan E-Krisa sebagai sumber antioksidan tambahan disajikan dalam bentuk pemaparan serta senam sehat. Senam sehat dicontohkan sebagai gerakan sederhana yang dapat dilakukan pada saat mengawali kegiatan bertani. Kegiatan dilanjutkan dengan diskusi dan tanya jawab dari peserta.

Evaluasi kegiatan dalam bentuk *pre test* dan *post test* berbentuk kuesioner dengan soal berupa pernyataan tertutup yang diberi skor. Pernyataan dalam kuesioner dalam kalimat positif maupun negatif untuk menilai pemahaman peserta kegiatan pengabdian kepada masyarakat tentang edukasi kesehatan dan pembuatan produk minuman *effervescent* E-Krisa. Diagram tahapan kegiatan seperti di *Gambar 1*.



Gambar 1. Tahap Kegiatan Pengabdian

Hasil dan Pembahasan

Bunga krisan, sebagai bahan utama pembuatan produk minuman *effervescent* E-Krisa merupakan hasil tanam KWT Sido Makmur. Hasil survei dan koordinasi dengan KWT terdapat beberapa varian bunga krisan (*Gambar 2.*). Krisan varian *Loly Red* yang kemudian digunakan dalam pembuatan minuman *effervescent* E-Krisa. Peserta sebanyak 26 orang anggota KWT Sido Makmur dikenalkan bentuk sediaan *effervescent*, diharapkan dapat memberikan pengalaman baru bagi anggota KT dalam mengolah bunga krisan menjadi bentuk produk yang berbeda dari olahan yang sebelumnya. Bentuk ini memiliki kelebihan karena dapat disajikan dengan cara dilarutkan dalam air, relatif mudah disimpan dan didistribusikan ke konsumen. Inovasi ini dapat menjadi salah satu cara meningkatkan nilai tambah krisan.



a. Loly Red b. Zuro c. Jarum d. Salju

Gambar 2. Varian Bunga Krisan Kelompok Wanita Tani Sido Makmur

Bunga krisan disiapkan dengan metode pencucian yang sama dengan kegiatan sebelumnya untuk menghilangkan residu pestisida (Purwanto dkk., 2023), yang mana penghilangan sisa pestisida ini merupakan hal yang sangat perlu diperhatikan sebelum pembuatan produk (Wang dkk., 2025) . Pembuatan E-Krisa diawali dengan penyiapan bahan dan pembuatan ekstrak krisan. Bahan yang digunakan antara lain

asam sitrat, asam tartrat, natrium bikarbonat dan pemanis stevia. Formula terbagi dalam dua bagian yaitu campuran asam dan campuran basa. Kedua bagian campuran asam dan basa kemudian diaduk untuk mendapatkan sediaan *effervescent*, dimasukkan dalam kemasan alumunium foil, ditutup dengan *heat sealer*, diberi label E-Krisa. Produk disimpan dalam tempat kering dan sejuk. Minuman effervescent E-Krisa dikonsumsi dengan cara melarutkan dalam 200 mL air, dengan es lebih terasa menyegarkan sesuai dengan saran penyajian (*Gambar 3.*)



Gambar 3. Saran Penyajian E-Krisa

Setelah pembuatan E-Krisa, kegiatan pengabdian dilanjutkan dengan edukasi kesehatan tentang gizi seimbang dan pola hidup sehat. Materi disampaikan dengan konsep SEHAT, yaitu Seimbangkan gizi harian, Enyah lemas, Hidrasi yang cukup, Asupan kalsium, Tambahkan E-Krisa sebagai sumber antioksidan tambahan. Edukasi diberikan dengan mempertimbangkan aktivitas petani yang banyak dilakukan di luar ruang dan terpapar sinar matahari. Kondisi tersebut menyebabkan pemenuhan kebutuhan cairan dan zat gizi menjadi hal yang penting untuk diperhatikan. Peserta diberi pemahaman bahwa pemenuhan gizi tidak bergantung pada satu jenis produk tetapi perlu didukung oleh konsumsi makanan dengan gizi seimbang, hidrasi yang cukup, dan pola hidup sehat. Produk seperti E-Krisa bukanlah pengganti kebutuhan gizi utama, tetapi sebagai salah satu alternatif produk berbahan lokal yang dapat dikembangkan dengan memanfaatkan potensi senyawa antioksidan dari krisan (Li dkk., 2019). Rangkaian kegiatan pengabdian berupa pemaparan materi pembuatan dan edukasi kesehatan dilengkapi dengan senam sehat dan penutupan (*Gambar 4.*).

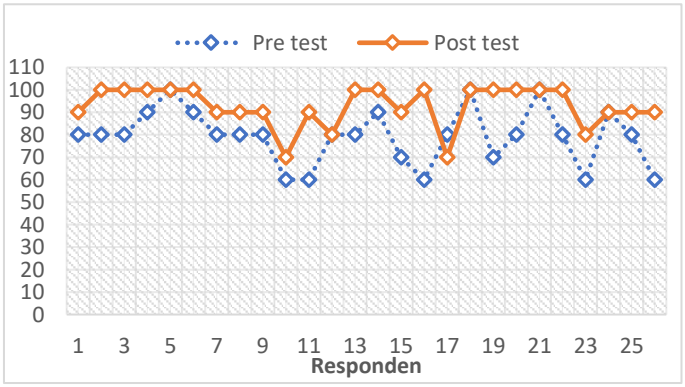


a. Pemaparan b. Senam sehat c. Penutupan

Gambar 4. Dokumentasi Kegiatan Pengabdian

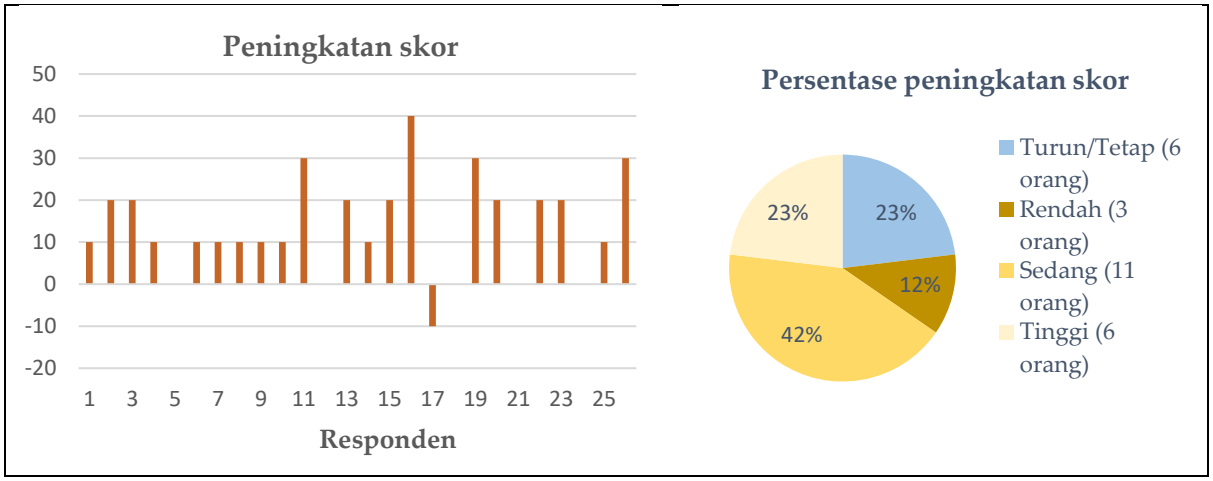
Evaluasi kegiatan untuk mengetahui tingkat pemahaman peserta sebelum dan sesudah kegiatan dengan pre test dan post test. Analisis skor dari 26 responden menunjukkan peningkatan pemahaman kegiatan yang positif. Rata-rata skor pre test (79,23) meningkat menjadi 92,69 pada post test (*Gambar 5.*). Dengan demikian terdapat rata-rata peningkatan skor sebesar 13,46 dari skor awal. Jika dilihat berdasarkan perubahan skor responden, maka sebanyak 6 peserta (23%) dengan skor tetap atau turun (≤ 0), 3 responden (12%) mengalami peningkatan skor rendah (1-10%), 11 responden (42%) mengalami peningkatan skor sedang (11-20%) dan 6 responden (23%) menunjukkan peningkatan skor tinggi (> 20%), dapat dilihat di *Gambar 6*.

Peningkatan skor tersebut menunjukkan penyampaian materi pembuatan E-Krisa dan edukasi kesehatan tentang konsep SEHAT dalam kegiatan pengabdian kepada KWT Sido Makmur benar dapat diterima dan dipahami. Hasil evaluasi ini juga memperlihatkan bahwa pengetahuan awal responden dalam hal ini adalah anggota KWT Sido Makmur sudah cukup baik, dengan rata-rata skor pre test 79,23. Kondisi ini dapat dikaitkan dengan kegiatan pendampingan yang telah dilakukan secara berkelanjutan sejak tahun 2023, berupa penyuluhan dan pelatihan pengolahan bunga krisan agar dapat dikembangkan dalam berbagai bentuk sediaan. Sehingga dalam kegiatan pengabdian tahun 2026 ini tidak diawali dengan pengenalan dan pencucian krisan, tetapi lebih diarahkan untuk pengembangan wawasan dan inovasi produk baru berupa minuman *effervescent*.



Gambar 5. Peningkatan Skor Pre Test – Post Test

Antusiasme peserta kegiatan juga terlihat dalam keterlibatan peserta selama kegiatan berlangsung. Anggota KWY Sido Makmur menunjukkan antusiasme dalam mengikuti pemaparan materi pembuatan minuman *effervescent* E-Krisa, edukasi kesehatan dengan topik SEHAT, dan senam yang dilakukan. Respon positif disampaikan oleh Ketua KWT Sido Makmur, ibu Triyani, yang menyampaikan bahwa pendampingan yang dilakukan secara konsisten memberikan tambahan pengetahuan dan wawasan kepada anggota mengenai berbagai potensi pengembangan krisan. Hasil kegiatan mampu memberikan peningkatan pengetahuan dan keterampilan anggota KWT Sido Makmur dalam mengembangkan potensi krisan menjadi produk minuman.



Gambar 6. Analisis Distribusi Peningkatan Skor

Kesimpulan

Secara menyeluruh, kegiatan pengabdian menunjukkan peningkatan pengetahuan anggota KWT Sido Makmur tentang potensi krisan dan pemahaman kesehatan. Inovasi pembuatan minuman *effervescent* E-Krisa memberikan alternatif diversifikasi produk krisan dari yang sudah ada sebelumnya. Keberlanjutan pendampingan menjadi salah satu hal yang penting dalam penyempurnaan formulasi, evaluasi mutu, pengembangan kemasan, dan pemasaran produk. Dengan pendampingan yang dilakukan secara konsisten diharapkan KWT Sido Makmur tidak hanya memiliki pengetahuan dasar tentang krisan, tetapi juga semakin siap dalam mengembangkan produk secara mandiri sebagai produk unggul yang berbasis potensi lokal Bandungan.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang yang telah mendukung kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini melalui pendanaan hibah PKM dosen. Terima kasih tersampaikan juga kepada Kepala Dusun, Kelurahan Kenteng – Bandungan yang menjadi mitra kegiatan pengabdian ini sehingga kegiatan dapat terlaksana sesuai yang diharapkan.

Referensi

Chen, L., Sun, J., Pan, Z., Lu, Y., Wang, Z., Yang, L., & Sun, G. (2023). Analysis of Chemical Constituents of Chrysanthemum morifolium Extract and Its Effect on Postprandial Lipid Metabolism in Healthy Adults. Molecules, 28(2), 579. **https://doi.org/10.3390/MOLECULES28020579/S1**

Ikasari, E. D., Wulansari, E. D., Anggraeny, E. N., Purwanto, U. R. E., Trisnaningtyas, M., & Sutrisno, A. P. (2025). Pemanfaatan Bunga Krisan Bandungan dalam Sediaan "Selly Sante": Selai Jelly Krisan Stevia. JURPIKAT, 6(4), 2602–2612. **https://doi.org/10.37339/JURPIKAT.V6I4.2810**

Dolongtelide, J. I., Fatimawali, F., Tallei, T. E., Suoth, E. J., Simbala, H. E. I., Antasionasti, I., & Kalalo, M. J. (2023). In Vitro Antioxidant Activity of Chrysanthemum indicum Flowers Extract and Its Fraction. Malacca Pharmaceutics, 1(2), 43–47. **https://doi.org/10.60084/MP.V1I2.26**

Fauziah, S. M., Nisak, Y. K., Sutama, D. K., Jannah, F., & Fitriana, N. (2026). Phytochemical profiling and bioactivity of chrysanthemum flowers from Pasuruan: antioxidant, antibacterial potential, and metabolite characterization. Chemical Papers 2026, 1–21. **https://doi.org/10.1007/S11696-026-05301-7**

Gopinath Vanhere, K., Vishram Derle, D., Bhausaheb Khatale, S., Laxman Nangude, S., Vanhere, K. G., & Research Scholar, P. (2023). A Comprehensive Review on Effervescent Tablets. Journal of Drug Delivery and Therapeutics, 13(7), 141–150. **https://doi.org/10.22270/jddt.v13i7.6120**

Ikromi, A., & Suryani, T. (2025). Antioxidant Activity and Organoleptic Quality of Purple Chrysanthemum (Chrysanthemum morifolium) Kombucha on the Variation of Sugar Types and Fermentation Duration. Agroteknika, 8(2), 276–287. **https://doi.org/10.55043/AGROTEKNIKA.V8I2.523**

Kabupaten Semarang. (2025). KAJIAN PEMBANGUNAN KABUPATEN SEMARANG BERBASIS POTENSI KECAMATAN TAHUN 2025. Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Semarang.

Khoiruttoriqoddin, A. L., Karyadi, & Sitepu, H. (2022). Analisis Usahatani Bunga Krisan (Crhysanthemum. sp) Desa Kenteng Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. AGROMEDIA: Berkala Ilmiah Ilmu-ilmu Pertanian, 40(2), 108–116. **https://doi.org/10.47728/AG.V40I2.367**

Li, Y., Yang, P., Luo, Y., Gao, B., Sun, J., Lu, W., Liu, J., Chen, P., Zhang, Y., & Yu, L. (Lucy). (2019). Chemical compositions of chrysanthemum teas and their anti-inflammatory and antioxidant properties. Food Chemistry, 286, 8–16. **https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.02.013**

Ningsih, T. L., Handayani, M., & Herista, M. I. S. (2026). Analisis Strategi Pengembangan Usaha Bunga Krisan Potong di CV Imunk Flower Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. Mimbar Agribisnis: Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis, 12(1), 1285–1293.

Nurhalimah, S., Rifqi, M., & Susilo, R. A. (2026). Pengembangan Minuman Fungsional Teh Bunga Krisan (Chrysanthemum morifolium ramat) dengan Penambahan Sari Kurma (Phoenix dactylifera L): The Development of Functional Drinks of Chrysanthemun Flower Tea (Chrysanthemum morifolium ramat) with the Addition of…. Jurnal Ilmiah Pangan Halal, 8(1), 123–131. **https://doi.org/10.30997/JIPH.V8I1.23357**

Lestariningsih, U., Setiadi, A., & Setiyawan, H. (2018). Analisis Pengaruh Agrowisata Terhadap Peningkatan Pendapatan Petani Bunga Krisan Di Kecamatan Bandungan Kabupaten Semarang. Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian, 2(1), 51–59. **https://doi.org/10.32585/AGS.V2I1.218**

Purwanto, U. R. E., Ikasari, E. D., Wulansari, E. D., Anggraeni, E. N., Bagiana, I. K., & Trisnaningtyas, M. (2023). Menggali Potensi Bunga Krisan Bandungan, Semarang sebagai Teh dan Lulur untuk Kesehatan dan Kecantikan. Jurnal DiMas, 5(2), 68–74. **https://doi.org/10.53359/DIMAS.V5I2.72**

Sanjaya, L. L., Triana, M., & Budiarto, K. (2025). SNI 4478: 2023 Krisan Potong: Dorong Peningkatan Kualitas dan Produksi Krisan Indonesia. Warta Argostandar, 1(3), 19–24.

Wang, X., Fan, W., Zha, C., Wang, Z., Yu, J., Wu, L., Zhang, X., Luo, F., Chen, Z., & Zhou, L. (2025). Occurrence, fate and dietary risk assessment of pesticides in chrysanthemum from garden to cup. Journal of Hazardous Materials, 493, 138363. **https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2025.138363**