

Korelasi Sidik Jari Teh Putih (*Camellia sinensis*) dan Aktivitas Antioksidannya Menggunakan Spektrofotometri Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) dan Analisis Data Multivariat

*Correlation of White Tea (*Camellia sinensis*) Fingerprint and Their Antioxidant Activity Using Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrophotometric and Multivariate Data Analysis*

Muhammad Shalahuddin Yusuf¹⁾, Dase Hunaefi^{1,2)}, Nancy Dewi Yuliana^{1,2)*}

¹⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor

²⁾ South-East Asia Food & Agricultural Science and Technology (SEAFast) Center, IPB University, Bogor

Abstract. *White tea, made from young tea leaves dried without enzymatic fermentation, retains higher antioxidant content and has a unique sensory profile based on its growing region and processing method. Fourier transform infrared resonance (FTIR) spectrophotometry measures the absorption of infrared radiation by molecular bonds, generating a unique fingerprint. FTIR can monitor changes in the chemical composition during tea processing. Each producer may have different processing techniques that affect tea quality. A study analyzed white tea samples from five producers in Java, Indonesia, using FTIR fingerprinting and antioxidant activity. Sample D from Central Java had the highest DPPH antioxidant activity, followed by samples E (from West Java), H (from East Java), and P and G (from West Java). FTIR fingerprint analysis identified common absorption peaks at wave numbers 1242 (ester), 1600–1400 (ring double bond), 3518 cm^{-1} (phenol), 2360 (amine), and 1400–1200 cm^{-1} (carbonyl). Orthogonal partial least squares–discriminant analysis (OPLS-DA) grouped the samples into two classes regardless of the region: D, E, and H in class 1, and P and G in class 2. Wave numbers attributed to amine, aromatic, and aldehyde groups were among the discriminating markers for class 1 and class 2. The results of OPLS analysis revealed a strong positive correlation between wave numbers 1258, 1342, 1466, 2392, and 2685 cm^{-1} . These wave numbers were found at higher intensities in sample D, which had the highest antioxidant activity. Thus, they can be used as important markers for white tea with good antioxidant activity.*

Keywords: DPPH, fingerprint profiling, FTIR, multivariate data analysis, tea

Abstrak. Teh putih, yang dibuat dari daun teh muda yang dikeringkan tanpa fermentasi enzimatik, memiliki kandungan antioksidan yang baik dan memiliki profil sensorik yang unik berdasarkan wilayah tumbuh dan metode pengolahannya. Spektrofotometri inframerah transformasi fourier (FTIR) mendeteksi mode getaran molekul, menghasilkan "sidik jari" yang unik untuk berbagai komponen. FTIR dapat memantau perubahan komposisi kimia selama pengolahan teh. Produsen yang berbeda memiliki teknik pengolahan yang berbeda yang memengaruhi kualitas teh. Penelitian ini menganalisis profil sidik jari dan aktivitas antioksidan sampel teh putih dari lima produsen di Jawa, Indonesia, menggunakan FTIR dan analisis data multivariat. Sampel D (Jawa Tengah) memiliki aktivitas antioksidan DPPH tertinggi, diikuti oleh sampel E (Jawa Barat), H (Jawa Timur), P dan G (Jawa Barat). Analisis sidik jari sampel teh putih menggunakan FTIR mengidentifikasi adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 1242 cm^{-1} (ester), 1600–1400 cm^{-1} (ikatan rangkap cincin), 3518 cm^{-1} (fenol), 2360 cm^{-1} (amina), dan 1400–1200 cm^{-1} (karbonil). *Orthogonal projection to least square–discriminant analysis* (OPLS-DA) mengelompokkan sampel ke dalam dua kelas tanpa memandang daerah asal teh: D, E, dan H di kelas 1, serta P dan G di kelas 2. Gugus amina, aromatik, dan aldehida adalah penanda penting untuk kelas 1 dan kelas 2. Hasil analisis OPLS mengungkapkan korelasi positif yang kuat antara bilangan gelombang 1258, 1342, 1466, 2392, dan 2685 cm^{-1} dengan aktivitas antioksidan. Bilangan gelombang ini ditemukan pada intensitas tinggi dalam sampel D yang memiliki aktivitas antioksidan tertinggi. Dengan demikian, bilangan gelombang ini dapat digunakan sebagai penanda penting untuk teh putih dengan aktivitas antioksidan yang baik.

Kata kunci: analisis data multivariat, DPPH, FTIR, profil sidik jari, teh

Aplikasi Praktis: Penelitian ini menghasilkan data berupa area sidik jari infra merah penanda yang berkorelasi dengan aktivitas antioksidan sampel teh putih. Informasi ini dapat digunakan sebagai parameter *quality control* produsen teh putih untuk menjaga konsistensi aktivitas antioksidan bahan baku teh putih yang dapat berfluktuasi sebagai akibat perbedaan cara pengolahan maupun kondisi geografis perkebunan teh.

PENDAHULUAN

Teh merupakan minuman yang banyak diminati oleh kalangan masyarakat dari semua umur. Indonesia merupakan salah satu produsen teh terbesar di dunia (Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan 2023). Keragaman yang dihasilkan dari mulai aroma, *mouthfeel*, sensasi, dan *after taste* membuat komoditi ini cocok untuk dikonsumsi dalam berbagai kondisi. Perbedaan karakteristik teh dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya, jenis dan kualitas daun teh (Anjarsari 2016), daerah asal (Esteki *et al.* 2022) dan proses produksinya (Su *et al.* 2024). Berdasarkan proses pengolahannya, teh dapat dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu: 1) Teh hitam yang mengalami fermentasi sempurna dengan kondisi optimum pada kelembapan tinggi bersuhu 24–29 °C selama 2–4 jam untuk memastikan oksidasi polifenol menjadi *teaflavin* dan *thearubigin* (Pou 2016), 2) Teh oolong, dibuat dengan fermentasi sebagian, yaitu fermentasi yang terjadi pada proses *wounding* yang menghasilkan metabolit sekunder pembentuk aroma kunci teh oolong seperti senyawa indol, *jasmine lacton*, dan (E)-nerolidol (Zeng *et al.* 2020). Proses *wounding* dilakukan dengan memberikan benturan secara terus menerus pada daun teh, 3) Teh hijau, dibuat dengan melalui proses *fixation* yang dilakukan pada suhu tinggi yang mendenaturasi enzim *polifenol oksidase* (PPO) dan peroksidase, serta mempertahankan warna pada daun teh (Murugesu dan Subramanian 2014), 4) Teh putih yang dibuat tanpa melalui proses fermentasi. Teh putih dibuat dari daun teh muda yang dikeringkan selama 48 jam tanpa melalui proses fermentasi enzimatis.

Teh putih dibuat untuk memaksimalkan kandungan antioksidan didalamnya. Teh putih yang tidak melalui proses fermentasi membawa profil sensori khas berdasarkan daerah tumbuhnya (Wong *et al.* 2022). Teh putih merupakan jenis teh yang memiliki aktivitas biologis yang baik seperti antioksidan, anti-inflamasi, dan anti kanker. Hal ini berkaitan dengan tingginya kadar polifenol dalam teh putih (Purwaningtyas dan Shobib 2022). Proses fermentasi pada jenis teh selain teh putih dapat melibatkan oksidasi katekin sehingga menurunkan kandungan antioksidan dalam teh. Teh putih memiliki karakteristik fisik memiliki daun individual kehijauan dan memiliki bulu perak halus yang panjang (Durnova *et al.* 2021).

Teh bermanfaat untuk kesehatan karena dapat menurunkan risiko penyakit kronis seperti kanker, penyakit kardiovaskular, arthritis, dan diabetes (Khan *et al.* 2008). Penelitian sebelumnya menunjukkan konsumsi antioksidan efektif mengurangi stres oksidatif yang terlibat dalam timbulnya beberapa penyakit (Hamdy *et al.* 2022). Stres oksidatif juga dapat memicu terjadinya penyakit kardiovaskular dan hipertensi. Konsumsi teh hitam maupun teh hijau menunjukkan peningkatan regulasi enzim *katalase* yang menurunkan

stres oksidatif dan melancarkan peredaran darah (Silveira *et al.* 2024). Konsumsi teh juga meningkatkan regenerasi kulit (Korkmaz *et al.* 2019), menurunkan risiko terkena *rheumatoid arthritis* (Jin *et al.* 2020), dan pengurangan risiko terkena penyakit parkinson (Zhou *et al.* 2019). Perbedaan proses pengolahan menyebabkan perbedaan jumlah tanin yang dapat diekstraksi (Kondo *et al.* 2014), perubahan konsentrasi senyawa antioksidan (Kim *et al.* 2011), dan perubahan profil sensori (Wang *et al.* 2022). Warna air seduhan merupakan faktor penting dari profil sensori dalam penerimaan teh putih oleh konsumen. Berdasarkan Hadiansyah (2023), seduhan teh putih yang berwarna kuning muda dan jernih memberikan kepuasan yang tinggi terhadap panelis. Bila digambarkan menggunakan CIELAB *color space*, larutan seduh memiliki nilai *yellowness* (b) positif, *redness* (a) bernilai negatif mendekati nol, dan *lightness* (L) bernilai positif. Analisis warna digunakan untuk membedakan sampel dapat dilakukan secara visual (uji organoleptik) maupun menggunakan instrumen seperti *chromameter*. Perubahan konsentrasi senyawa antioksidan dalam produk dapat dianalisis salah satunya dengan metode sidik jari menggunakan spektrofotometer inframerah transformasi *fourier* (FTIR).

Spektrofotometer FTIR merupakan instrumen yang mampu mendeteksi mode getaran molekul untuk menghasilkan "sidik jari" merefleksikan keberadaan berbagai komponen. FTIR dapat digunakan untuk memantau perubahan komposisi kimia selama pengolahan teh. Analisis sidik jari merupakan suatu metode yang digunakan untuk identifikasi dan karakterisasi sampel berdasarkan komposisi kimia maupun pola unik yang dihasilkan suatu instrumen analitik (Esteki *et al.* 2022). FTIR dapat mengukur sampel pada rentang panjang gelombang secara simultan. Spektrum dihasilkan berupa hubungan antara intensitas absorpsi dengan bilangan gelombang (cm^{-1}). Data hasil analisis sidik jari menggunakan FTIR dapat diolah dengan metode analisis data multivariat seperti *principal componen analysis* (PCA) untuk membagi sampel menjadi kelas data. Kelas yang terbentuk dianalisis lebih lanjut dengan *orthogonal projection to the least square-discriminant analysis* (OPLS-DA) untuk memaksimalkan pemisahan antar grup (Worley dan Powers 2016). Produk teh dari produsen berbeda memungkinkan untuk memiliki komposisi kimia yang berbeda dan berpengaruh pada aktivitas antioksidan sampel. Kemampuan antioksidan dapat diukur dengan metode *2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl* (DPPH). Analisis antioksidan dengan metode DPPH digunakan sebagai standar untuk penentuan potensi aktivitas antioksidan secara umum (Shimamura *et al.* 2014). Selanjutnya, data FTIR dapat dikorelasikan dengan data aktivitas antioksidan menggunakan metode analisis data multivariat yang lain, yaitu *orthogonal projection to the least squares* (OPLS). Metode OPLS memisah-

kan variasi data berdasarkan hubungan data FTIR (X) dan data antioksidan (Y) serta, menunjukkan bagian data X yang memiliki pengaruh positif terhadap Y dengan mengeliminasi data lain yang tidak relevan (Rivero-Cruz *et al.* 2017).

Penelitian sebelumnya telah melakukan karakterisasi profil sensori dari produk komersil teh putih asal Indonesia (Hadiansyah *et al.* 2023), beberapa penelitian lain juga telah melakukan karakterisasi antioksidan dari berbagai sampel teh putih. Akan tetapi, belum memberikan profil antioksidan produk teh putih asal Indonesia. Sehingga, penelitian ini dilakukan dengan tujuan memperoleh profil sidik jari sampel teh putih dari berbagai produsen di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur, serta korelasinya dengan tingkat antioksidan menggunakan metode analisis sidik jari FTIR dan analisis data multivariat. Metode analisis data multivariat PCA dan OPLS-DA digunakan untuk melihat perbedaan proses pengolahan pada produsen serta daerah asal berpengaruh terhadap komposisi kimia. Selanjutnya, data FTIR diolah menggunakan OPLS untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari senyawa yang memengaruhi aktivitas antioksidan dari teh putih. Profil warna air seduhan teh putih juga dianalisis karena warna merupakan salah satu faktor penting dalam penerimaan teh oleh konsumen.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah lima sampel teh putih (berupa daun kering) dari berbagai produsen yang berbeda. Sampel D adalah produk teh putih komersial yang dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, sampel E yang dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, sampel G yang dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, sampel H yang dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, dan sampel P yang dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat. Bahan kimia yang digunakan untuk pengujian antioksidan adalah 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Merck, Jerman), pelarut etanol (Merck, Jerman), aquades, dan serbuk KBr (Merck, Jerman).

Preparasi sampel seduhan teh

Masing-masing sampel daun teh diseduh dengan air panas 95 °C menggunakan perbandingan daun teh dan air 1:50 (b/b), kemudian didiamkan selama 15 menit tanpa pengadukan (Hadiansyah *et al.* 2023).

Analisis warna dengan kromameter

Analisis warna dengan kromameter mengacu pada Hadi *et al.* (2021) dengan penyesuaian pada volume sampel. Masing-masing sampel seduhan teh diambil sebanyak 5–10 mL ke dalam wadah sampel berlatar

putih. Latar putih digunakan untuk menghindari tambahan warna latar dikarenakan warna larutan yang tembus cahaya. Chromameter CR-400 (Konica Minolta, Jepang) dikalibrasi dengan pelat kalibrasi. Chromameter ditempelkan pada lima titik sampel untuk pengukuran. Data diperoleh sebagai nilai L* (*Lightness*), a* (*redness*), dan b* (*yellowness*). Perbedaan warna ditunjukkan dengan nilai *delta empfindung* (ΔE) yang dihitung dengan persamaan 1.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: ΔE = Nilai perbedaan sensasi warna, ΔL = Nilai L sampel dikurangi pembanding, Δa = Nilai a sampel dikurangi pembanding, Δb = Nilai b sampel dikurangi pembanding

Pemilihan sampel pembanding pada analisis perbedaan warna (ΔE) menggunakan pendekatan objektif berdasarkan stabilitas warna dan keseragaman visual. Dalam hal ini, sampel yang dijadikan pembanding adalah sampel yang memiliki jumlah nilai $\Delta E < 3,3$ terbanyak saat dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel tersebut memiliki perbedaan warna yang tidak signifikan secara visual terhadap mayoritas sampel lain, sehingga dianggap paling representatif sebagai acuan warna.

Uji antioksidan

Analisis antioksidan dilakukan dengan metode DPPH sebagai gambaran kemampuan donor hidrogen sampel terhadap radikal DPPH. Pelepasan gugus hidrogen berasal dari gugus hidroksil (OH) fenol senyawa golongan katekin yang memiliki hidrogen parsial positif (Anitha *et al.* 2020).

Metode uji antioksidan dilakukan berdasarkan Saputri dan Jantan (2011), dengan mempersiapkan larutan induk DPPH: Sejumlah 4 mg DPPH dilarutkan dalam etanol hingga volume tepat 10 mL. Larutan disimpan dalam wadah tak tembus cahaya dan lemari pendingin. Uji antioksidan: Sampel seduhan disaring untuk diambil larutannya. Kemudian, larutan dikeringuapkan dengan *rotary evaporator* (R-300, BUCHI, Swiss) untuk mendapatkan ekstrak kering. Ekstrak dilarutkan dengan etanol hingga konsentrasi 10.000 mg/L. Ekstrak diencerkan hingga 60 mg/L. Larutan dicuplik sebanyak 1 mL ditambahkan 0,1 mL larutan induk DPPH dan diencerkan dengan etanol hingga 2 mL. Selanjutnya larutan didiamkan 30 menit dalam ruangan gelap sebelum diukur dengan spektrofotometer UV-Vis (Genesys 20, Thermo Fisher Scientific, Amerika Serikat) pada panjang gelombang 517 nm.

Analisis sidik jari dengan FTIR

Tahapan analisis sidik jari menggunakan FTIR mengacu pada Yuliana *et al.* (2018). Pertama sampel daun dikeringkan, lalu dihaluskan dan ditimbang sebe-

lum dicampurkan KBr dengan rasio sampel:KBr 1:9 (b/b). Campuran dihaluskan hingga homogen kemudian dipadatkan pada wadah sampel. Sampel diukur pada bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} menggunakan FTIR (Shimadzu Iprestige-21, Jepang).

Analisis data multivariat

Analisis data multivariat mengacu pada Simatupang *et al.* (2023) dengan jenis analisis yang digunakan ialah *principal component analysis* (PCA), *orthogonal projection to the least square-discriminant analysis* (OPLS-DA), dan *orthogonal projection to the least square* (OPLS). PCA digunakan untuk menilai pola klasifikasi serta sebagai analisis pendahuluan untuk dapat lanjut ke analisis perbedaan dengan OPLS-DA. Keabikan model PCA dievaluasi berdasarkan nilai ragam dari faktor (X) yang dijelaskan oleh model (R^2X) dan nilai koefisien prediktif (Q^2). Selanjutnya, OPLS-DA digunakan untuk menyempurnakan pola klasifikasi yang diperoleh dari PCA serta melakukan analisis lebih lanjut untuk menemukan variabel (senyawa volatil) penanda/biomarker dari setiap proses diskriminasi yang dilakukan. Kualitas OPLS-DA diperiksa dengan melihat nilai ragam dari faktor Y yang dijelaskan oleh model (R^2Y), R^2X , Q^2 , dan nilai hasil uji permutasi. Pemilihan bilangan gelombang penciri dilakukan berdasarkan nilai *variable importance of the projection* (VIP) pada proyeksi OPLS dengan nilai VIP >1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbedaan warna seduhan sampel teh putih

Hasil analisis warna sampel seduhan pada Tabel 1 menunjukkan sampel teh memiliki warna yang berbeda-beda secara visual. Berdasarkan nilai ΔE diperoleh hasil bahwa, sampel G dan H memiliki nilai ΔE <3,3, hal ini dapat dianggap memiliki warna yang tidak berbeda nyata secara visual dengan sampel E. Sampel D dan P memiliki nilai ΔE >3,3 yang menunjukkan bahwa kedua sampel dinilai memiliki perbedaan signifikan secara visual dengan standar (Karadaş dan Demirbuğa 2017). Sampel G dan H memiliki warna yang hampir serupa terhadap pembandingan, namun hal ini tidak menunjukkan bahwa sampel G dan H memiliki warna visual yang serupa (Wrolstad dan Smith 2017). Berdasarkan Tabel 1, sampel G memiliki nilai L^* , a^* , dan b^* yang menunjukkan warna yang lebih cerah terhadap pembandingan, sedangkan sampel H menunjukkan warna yang lebih gelap. Perbedaan warna daun dan seduhan dari produk teh dapat disebabkan oleh perbedaan kadar kandungan pigmen seperti klorofil, karotenoid dan antosianidin (Li *et al.* 2016). Teaflavin, flavon dan flavonol larut air berkontribusi dalam memberikan warna kuning dalam seduhan teh (Chaturvedula dan Prakash 2011). Perubahan pigmen pada produk teh dapat memengaruhi tingkat antioksi-

dan akibat oksidasi flavonol menjadi teaflavin dan tearubigin (Abudurehman *et al.* 2022). Tearubigin memberikan warna kemerahan, sehingga meningkatkan nilai a pada seduhan teh.

Tabel 1. Hasil analisis warna air seduhan teh putih menggunakan chromameter

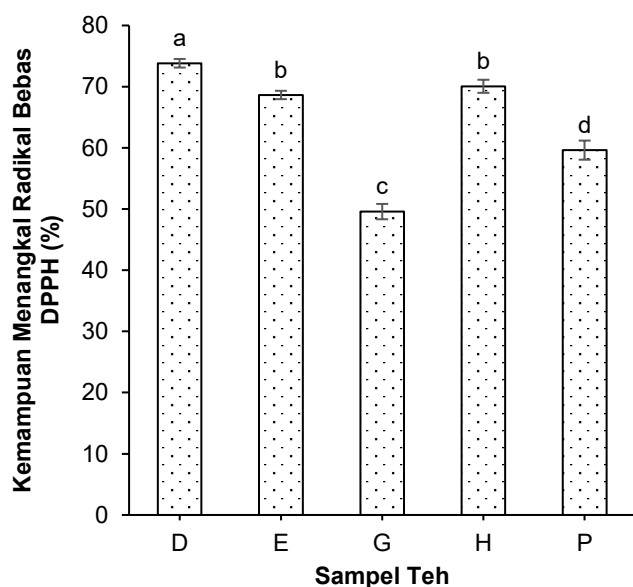
Sampel	L^*	a^*	b^*	ΔE
D	91,0 $\pm$ 1,1 ^b	-11,1 $\pm$ 1,0	40,1 $\pm$ 1,1 ^e	7,3
E	89,5 $\pm$ 1,8 ^{ab}	-10,7 $\pm$ 0,9	32,9 $\pm$ 0,5 ^c	S
G	91,4 $\pm$ 2,2 ^b	-10,3 $\pm$ 0,6	31,5 $\pm$ 0,5 ^b	2,3
H	87,9 $\pm$ 0,6 ^a	-10,1 $\pm$ 0,9	35,0 $\pm$ 0,7 ^d	2,8
P	95,8 $\pm$ 1,2 ^c	-10,4 $\pm$ 0,3	28,8 $\pm$ 0,3 ^a	7,5

Keterangan: *Data diekspresikan sebagai rata-rata $\pm$ standar deviasi, analisis statistik menggunakan ragam satu arah sebanyak 5 ulangan. D= sampel komersil dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, E= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, G= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, H= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, P= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat, ΔE = perbedaan sensasi warna, S= Pembandingan yang digunakan dalam perhitungan ΔE

Aktivitas antioksidan teh putih

Hasil uji aktivitas antioksidan teh putih pada konsentrasi 60 mg/L menunjukkan aktivitas antioksidan terbaik dimiliki oleh sampel D yang berasal dari Jawa Tengah seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel E, G, dan P yang sama-sama berasal dari Jawa Barat memiliki aktivitas antioksidan yang berbeda. Hal ini disebabkan karena masing-masing produsen memiliki cara berproduksi berbeda. Penurunan jumlah antioksidan pada tahap produksi dapat disebabkan oleh lamanya penyimpanan (Fan *et al.* 2021), paparan terhadap sinar (Mu *et al.* 2021) atau suhu pada saat pelayuan (Chang *et al.* 2023). Perbedaan kondisi alam di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur tidak berpengaruh signifikan terhadap aktivitas antioksidan sampel teh.

Perbedaan tingkat antioksidan dapat dipengaruhi oleh faktor tipe kultivar, letak geografis pertumbuhan dan metode produksi daun teh (Damiani *et al.* 2014). Tingkat aktivitas antioksidan sampel dapat dipengaruhi oleh stres kekeringan pada saat pertumbuhan teh di tempat asalnya. Kekeringan selama 20 hari dapat menurunkan tingkat antioksidan sebesar 21–37% (Upadhyaya *et al.* 2008). Pemberian air setelah kekeringan singkat dapat meningkatkan biosintesis polifenol dan meningkatkan toleransi stres kekeringan (Wang *et al.* 2017). Kondisi ini dapat terjadi akibat perbedaan letak geografis. Jawa Barat memiliki curah hujan paling tinggi hingga menengah, Jawa Tengah dengan curah hujan menengah, dan Jawa Timur memiliki curah hujan menengah menuju rendah (Prasetyaningtyas 2024). Hal inilah yang memengaruhi aktivitas antioksidan teh putih asal Jawa Barat lebih rendah dibandingkan teh putih asal Jawa Tengah dan Jawa Timur.



Keterangan: Data diekspresikan sebagai rata-rata±standar deviasi, analisis statistik menggunakan ragam satu arah sebanyak 5 ulangan. D= sampel komersil dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, E= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, G= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, H= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, P= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat

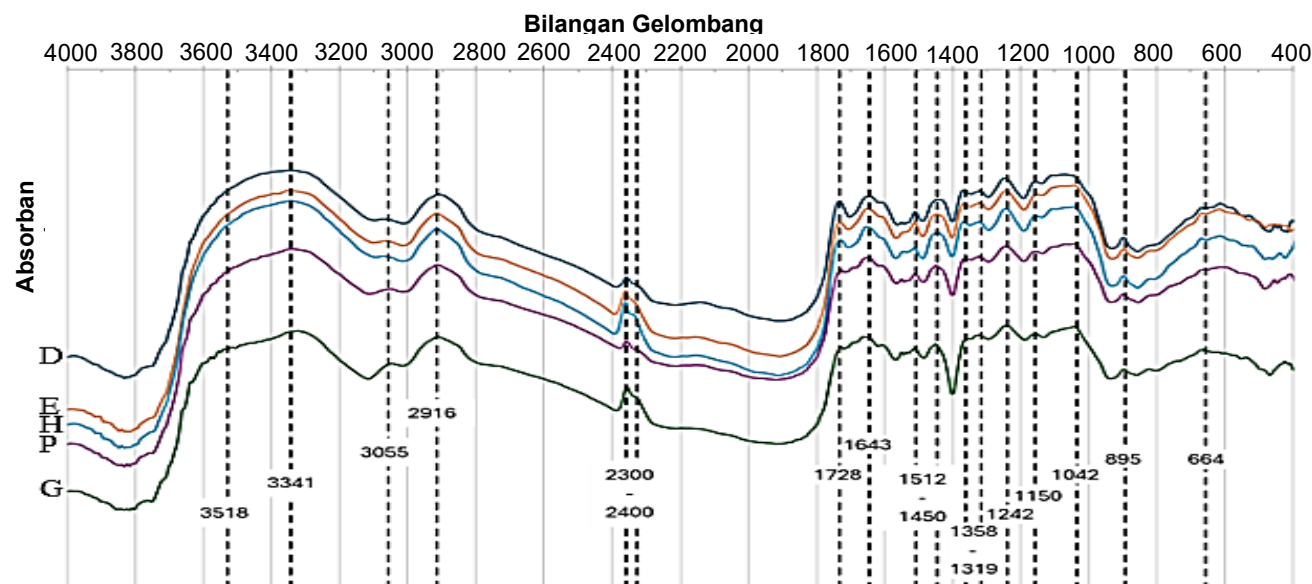
Gambar 1. Aktivitas antioksidan (DPPH) ekstrak seduhan teh putih dari berbagai produsen di daerah Jawa Barat dan Jawa Tengah (konsentrasi uji 60 ppm)

Sidik jari teh putih dengan FTIR

Spektra hasil analisis sidik jari sampel teh dari berbagai produsen dengan FTIR pada Gambar 2 menun-

jukkan pola serupa dengan intensitas yang berbeda. Secara visual, bilangan gelombang yang terlihat berbeda intensitasnya ada diantara area 2300–2400 cm^{-1} , dan area 1300–1400 cm^{-1} . Interpretasi gugus fungsi yang terdeteksi pada sampel teh dijabarkan pada Tabel 2. Data sidik jari sampel teh pada penelitian ini menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang sesuai dengan perkiraan kandungan senyawa turunan katekin khususnya *epigallocatekin gallat* (EGCG) dalam sampel. Keberadaan EGCG ditentukan oleh adanya puncak pada 1242 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus ester. Bilangan gelombang 2300–2400 cm^{-1} dengan puncak ganda menunjukkan adanya puncak serapan yang diidentifikasi bukan bagian dari struktur EGCG, puncak 2300–2400 cm^{-1} diperkirakan berasal dari gugus amina tersier yang mungkin dapat memengaruhi aktivitas antioksidan sampel. Keberadaan *peak* pada 3055 cm^{-1} mengindikasikan kandungan air dalam sampel yang dapat memengaruhi *peak* ikatan hidrogen (3340 cm^{-1}) menjadi lebih lebar. Keberadaan air dalam sampel merupakan hal umum yang terjadi pada sampel bahan alam.

Keragaman gugus fungsi senyawa-senyawa yang terkandung pada teh dari beberapa penelitian sebelumnya (Dai *et al.* 2017; Meyer *et al.* 2023; Shi *et al.* 2023) yang dapat dilihat pada Tabel 3. Terdapat kemiripan antara gugus fungsi yang teridentifikasi pada data FTIR sampel teh putih dengan gugus fungsi yang ada pada beberapa senyawa yang telah dilaporkan pada ketiga penelitian terdahulu tersebut.



Keterangan: D= sampel komersil dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, E= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, G= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, H= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, P= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat

Gambar 2. Spektra FTIR sampel bubuk teh putih. D (biru), E (jingga), H (biru muda), P (ungu), dan G (hijau)

Tabel 2. Perkiraan gugus fungsi bilangan gelombang pada profil FTIR teh putih (Silverstein *et al.* 2014)

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Perkiraan Gugus Fungsi
663	Hidrogen aromatik
894	Hidrogen alifatik
1041	Eter simetri
1149	Hidrogen aromatik
1242	Ester
1319	Eter dimer
1357	Regangan karbonil
1450	Metilena
1512	Ikatan rangkap cincin
1604	Ikatan Rangkap cincin
1728	Ester cincin
2360	Amina Sekunder
2916	Hidrogen
3055	Hidroksil air
3340	Ikatan hidrogen
3518	Ikatan hidrogen fenol

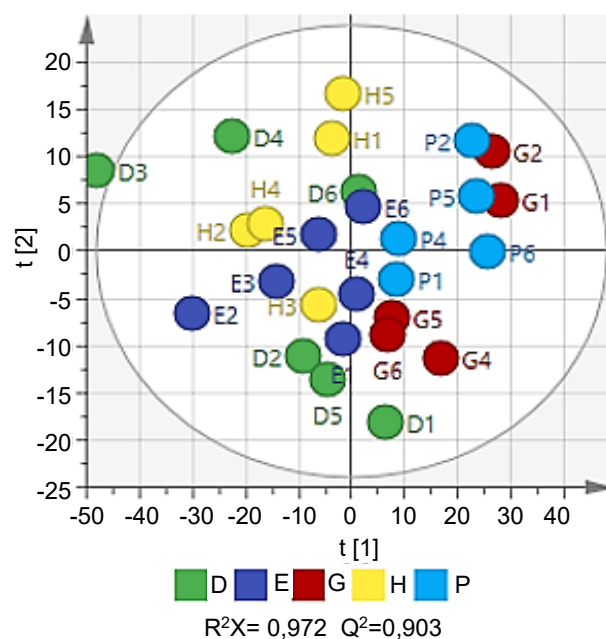
Tabel 3. Gugus fungsi senyawa yang terkandung dalam seduhan teh

Referensi	Senyawa	Gugus Fungsi
Meyer <i>et al.</i> (2023)	Epikatekin	Fenol, eter, hidroksil
	Epigallocatekin	Fenol, eter, hidroksil
	Epigallocatekin galat	Fenol, eter, ester
	Galokatekin	Fenol, eter, hidroksil
	Epikatekin	Fenol, eter, ester
	Galat	
	Kafein	Amina tersier, keton, alkana
Dai <i>et al.</i> (2017)	Protein	Amina, amida, asam karboksilat
	Polisakarida	Eter, ester
	Asam amino	Amina, asam karboksilat
	Asam organik	Asam sulfonat, aldehida, keton, tioester
	Lignin	Eter, fenol
	Metilsantin	Amida, amina sekunder, amina tersier
Shi <i>et al.</i> (2023)	Klorofil	Ester, alkana linier
	Karotenoid	Alkana terkonjugasi, keton
	Lipida	Amina, asam karboksilat
	L-teanin	amina, amida, asam karboksilat

Data multivariat sidik jari dan aktivitas antioksidan teh putih

Analisis sidik jari dengan FTIR menghasilkan dimensi data yang besar sehingga dibutuhkan metode analisis multivariat untuk memetakan kesamaan dan ketidaksamaan antar data (Murtagh dan Heck 2012). Hasil analisis model PCA pada Gambar 3 menunjukkan pengelompokan yang baik berdasarkan profil kimia sampel tetapi tidak menjelaskan adanya perbedaan tempat tumbuh. Model PCA dari spektra FTIR yang dihasilkan memiliki nilai R^2X dan Q^2 sebesar 0,972 dan 0,903. Model yang dihasilkan memiliki

kredibilitas yang baik, dikarenakan memiliki nilai R^2X lebih besar dari 0,7 dan Q^2 lebih besar dari 0,5. Pada plot skor PCA (Gambar 3), sampel P dan G cenderung mengelompok bersama di sisi kanan plot, sedangkan sampel H, D dan E memiliki sebaran di bagian kiri. Selanjutnya, dilakukan analisis OPLS-DA dengan dua pengelompokan untuk memperkuat pemisahan antar grup. OPLS-DA dipilih karena memiliki sensitivitas yang baik terhadap data kompleks dan dapat memisahkan variasi tidak relevan dalam data (Esteves *et al.* 2022), sehingga hasil dapat memberikan gambaran yang lebih jelas dibandingkan analisis diskriminan lainnya. Sampel D, E, dan H dikelompokkan sebagai kelompok 1, sedangkan sampel P dan G sebagai kelompok 2. Pemisahan ini menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki profil sidik jari yang berbeda akan tetapi pengelompokan pada OPLS-DA tidak menunjukkan pengklasifikasian sampel berdasarkan aktivitas antioksidannya.

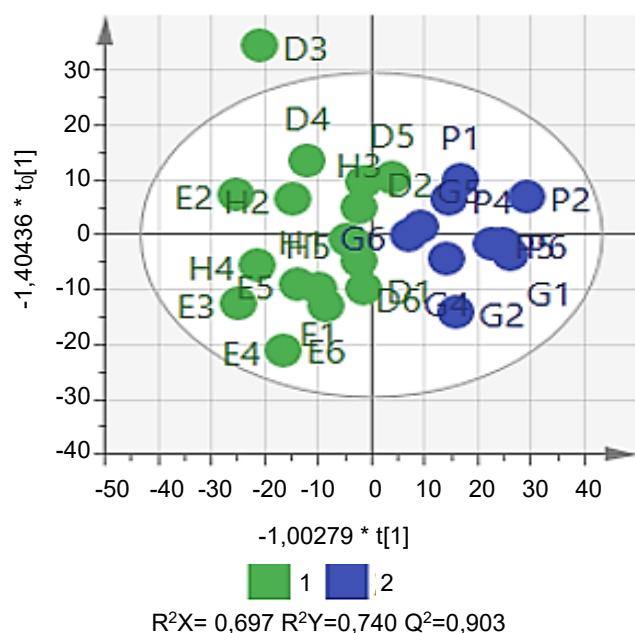


Keterangan: D= sampel komersil dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, E= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, G= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, H= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, P= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat. *Angka setelah huruf kode sampel menunjukkan nomor ulangan sampel

Gambar 3. Score plot PCA data spektra FTIR sampel bubuk teh putih

Selanjutnya area sidik jari infra merah yang menjadi penanda masing-masing kelompok ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi dan *variable importance of the projection* (VIP) untuk setiap rentang bilangan gelombang yang ada pada masing-masing kelompok OPLS-DA. Berdasarkan nilai koefisien korelasi yang bernilai positif (Gambar 4), dan

dilanjutkan dengan memilih bilangan gelombang dengan nilai $VIP \geq 1$, didapatkan bilangan gelombang dan perkiraan gugus fungsi penciri untuk sampel yang ada pada kelompok 1 dan kelompok 2 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.



Keterangan: D= sampel komersil dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, E= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, G= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, H= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, P= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat, Hijau= sampel kelas 1, Biru= sampel kelas 2. *Angka setelah huruf kode sampel menunjukkan nomor ulangan sampel

Gambar 4. Score plot OPLS-DA data spektra FTIR sampel bubuk teh putih

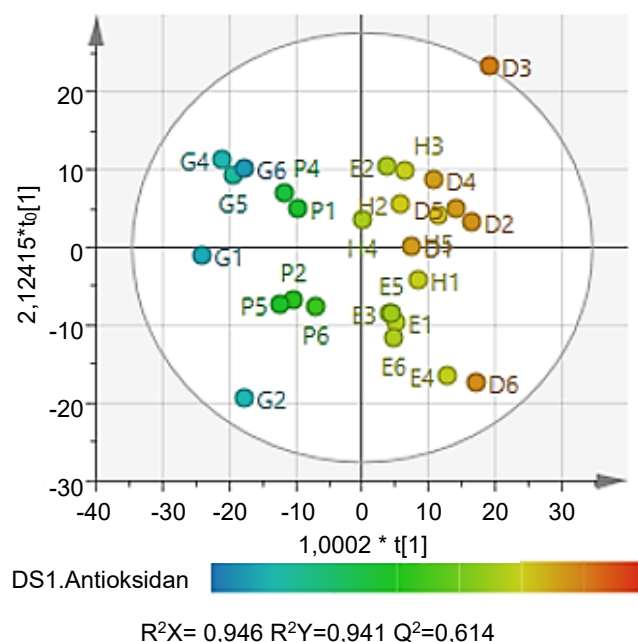
Sampel yang ada pada kelompok 1 terdiri dari sampel teh putih yang berasal dari produsen D (Jawa Tengah), E (Jawa Barat), dan H (Jawa Timur), Kelompok 1 memiliki bilangan gelombang penanda yang mewakili gugus amina, aromatik, dan aldehida. Sampel pada kelompok 2 terdiri dari sampel P dan G yang berasal dari Jawa Barat. Kelompok ini menunjukkan gugus fungsi pembeda pada bilangan gelombang yang mewakili gugus hidrogen pada struktur aromatik dan gugus fenol. Perbedaan konsentrasi senyawa asam amino dapat disebabkan oleh penyerapan unsur nitrogen oleh tanaman yang diperlukan untuk sintesis asam amino dan meregulasi sintesis klorofil (Ruan *et al.* 2019). Perbedaan senyawa aromatik maupun antioksidan dapat disebabkan oleh proses produksi pasca panen saat enzim belum mengalami inaktivasi sempurna (Shao *et al.* 2021). Hasil analisis sidik jari dengan OPLS-DA menunjukkan bahwa perbedaan daerah asal tidak memengaruhi profil sidik jari sampel teh putih,

namun lebih dipengaruhi oleh perbedaan cara pengolahan pada tiap produsen.

Tabel 4. Bilangan gelombang dan gugus fungsi yang menunjukkan perbedaan kelas

Kelas	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	VIP	Gugus Fungsi
1	1689	1.038	Karbonil
	2059	1.081	Alkena
	2152	1.116	Alkena aromatic
	2252	1.187	Amina tersier
	2384	1.147	Amina sekunder
	2700	1.108	Aldehida
	2954	1.107	Hidrogen
2	663	1.064	Hidrogen
	702	1.009	Aromatik
	3795	1.091	Alkena/fenol
			Ikatan Hidrogen Fenol

Analisis data selanjutnya dilakukan menggunakan OPLS untuk mengidentifikasi bilangan gelombang dan gugus fungsi yang berkorelasi dengan aktivitas antioksidan teh putih. Plot skor OPLS pada Gambar 5 menunjukkan pengklasifikasian sampel teh putih berdasarkan hubungan data FTIR sebagai variabel prediktif (X) dengan aktivitas antioksidan sampel sebagai variabel respon (Y).



Keterangan: D= sampel komersil dipetik dari Bayanan–Jawa Tengah, E= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Lembang–Jawa Barat, G= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Ciwidey–Jawa Barat, H= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Sirah Kencong–Jawa Timur, P= sampel komersil dipetik dan diproduksi di daerah Pasir Sarongge–Jawa Barat.

Gambar 5. Score plot OPLS data spektra FTIR sampel bubuk teh putih (X) dan aktivitas antioksidan ekstrak seduhan teh putih (Y)

Sampel D merupakan sampel dengan aktivitas antioksidan paling tinggi berada pada bagian paling kanan dari area plot skor, diikuti oleh sampel H, sampel E, sampel P, dan sampel G yang posisinya semakin bergeser ke arah kiri area plot skor karena memiliki aktivitas antioksidan yang lebih rendah. Bilangan gelombang penciri yang berasal dari senyawa pada teh yang memengaruhi aktivitas antioksidan dapat ditentukan dengan menyeleksi bilangan gelombang yang memiliki nilai $VIP \geq 1$ dan koefisien korelasi bernilai positif. Hasil OPLS menunjukkan bahwa beberapa area sidik jari infra merah berkorelasi positif dengan aktivitas antioksidan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5. Area sidik jari penanda tersebut umumnya berkorelasi dengan keberadaan senyawa yang mengandung gugus fungsi amina (De Meutter dan Goormaghtigh 2021), aldehida dan aromatik (Cai *et al.* 2015).

Tabel 5. Bilangan gelombang penciri dengan perkiraan gugus fungsinya

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	VIP	Perkiraan Gugus Fungsi
988	1,01	Hidrogen alifatik
1258	1,07	Ester
1312	1,11	Eter dimer
1342	1,12	Regangan karbonil
1466	1,13	Ikatan rangkap cincin
1690	1,04	Eter cincin
2268	1,19	Amina tersier
2392	1,24	Amina sekunder
2523	1,18	Keton
2685	1,11	Aldehida
3765	1,03	Ikatan hidrogen fenol

KESIMPULAN

Teh putih yang diolah oleh produsen yang berbeda memiliki profil warna yang relatif sama secara visual, namun memiliki aktivitas antioksidan yang berbeda. Sampel dari produsen D yang berasal dari daerah Jawa Tengah memiliki aktivitas antioksidan tertinggi pada konsentrasi 60 mg/L diikuti sampel E (Jawa Barat), H (Jawa Timur), P (Jawa Barat), dan G (Jawa Barat). Hasil analisis data multivariat PCA menunjukkan bahwa asal daerah tidak berpengaruh terhadap profil sidik jari teh, namun perbedaan produsen dapat mengakibatkan perbedaan profil sidik jari yang pada akhirnya berpengaruh terhadap aktivitas antioksidan sampel teh. Hasil analisis sidik jari yang disandingkan dengan data hasil analisis antioksidan menggunakan analisis multivariat OPLS menunjukkan bahwa area sidik jari dengan bilangan gelombang yang mewakili senyawa dengan gugus fungsi amina, aldehida, dan fenol merupakan area penciri sampel teh dengan aktivitas antioksidan yang tinggi. Penelitian ini terbatas pada sampel dari 5 produk komersil dan belum dapat mewakili profil geografis produk teh putih. Penelitian

selanjutnya diharapkan dapat memperoleh sampel segar dari beberapa titik sampel representatif dari masing-masing produsen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abudurehman B, Yu X, Fang D, Zhang H. 2022. Enzymatic oxidation of tea catechins and its mechanism. *Molecules*. 27 (3): 942. doi:10.3390/molecules27030942
- Anitha S, Krishnan S, Senthilkumar K, Sasirekha V. 2020. Theoretical investigation on the structure and antioxidant activity of (+) catechin and (–) epicatechin – a comparative study. *Mol Phys*. 118 (17): e1745917. doi:10.1080/00268976.2020.1745917
- Cai J xiong, Wang Y feng, Xi X gang, Li H, Wei X lin. 2015. Using FTIR spectra and pattern recognition for discrimination of tea varieties. *Int J Biol Macromol*. 78: 439–446. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.03.025
- Chang R, Luo H-Y, Zhang L, Li H-H, Wang Y, Chen S-M, Zhong Y-F. 2023. Effects of different withering temperatures and times on the quality of summer white tea. *J South Agric*. 54 (7): 2060–2070. doi:10.11924/j.issn.1000-6850.casb2022-0065
- Chaturvedula VSP, Prakash I. 2011. The aroma, taste, color and bioactive constituents of tea. *J Medic Plants Res*. 5 (11): 2110–2124.
- Dai W, Xie D, Lu M, Li P, Lv H, Yang C, Peng Q, Zhu Y, Guo L, Zhang Y, Tan J, Lin Z. 2017. Characterization of white tea metabolome: Comparison against green and black tea by a nontargeted metabolomics approach. *Food Res*. 96: 40–45. doi:10.1016/j.foodres.2017.03.028
- Damiani E, Bacchetti T, Padella L, Tiano L, Carloni P. 2014. Antioxidant activity of different white teas: Comparison of hot and cold tea infusions. *J Food Comp Anal*. 33 (1): 59–66. doi:10.1016/j.jfca.2013.09.010
- Anjarsari IRD. 2016. Katekin teh Indonesia : prospek dan manfaatnya. *J Kultivasi*. 15 (2): 99–106. doi:10.24198/kltv.v15i2.11871
- Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan. 2023. *Statistik Teh Indonesia 2022*. Volume ke-16. Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan, editor. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Durnova N, Simakova M, Isaev D, Simakova I, Simakov A. 2021. Morphology of *Camellia Sinensis* L. leaves as marker of white tea

- authenticity. *Estonian Univ Life Sci.* 19 (3): 1436–1445. doi:10.15159/AR.21.126
- Esteki M, Memarbashi N, Simal-Gandara J. 2022. Classification and authentication of tea according to their geographical origin based on FT-IR fingerprinting using pattern recognition methods. *J Food Comp Anal.* 106: 104321. doi:10.1016/j.jfca.2021.104321
- Esteves CSM, de Redrojo EMM, Manjón JLG, Moreno G, Antunes FE, Montalvo G, Ortega-Ojeda FE. 2022. Combining FTIR-ATR and OPLS-DA methods for magic mushrooms discrimination. *Forensic Chem.* 29: 100421. doi:10.1016/j.forc.2022.100421
- Fan F-Y, Huang C-S, Tong Y-L, Guo H-W, Zhou S-J, Ye J-H, Gong S-Y. 2021. Widely targeted metabolomics analysis of white peony teas with different storage time and association with sensory attributes. *Food Chem.* 362: 130257. doi:10.1016/j.foodchem.2021.130257
- Hadiansyah F. 2023. Profilling sensory teh putih (*Camelia sinensis* L.) berbasis panelis terlatih dan panelis konsumen [tesis]. Bogor: IPB University.
- Hadiansyah F, Hunaefi D, Yuliana ND, Fuhrmann P, Smetanska I, Yasuda S. 2023. Sensory profiling of indonesian white tea using quantitative descriptive analysis. *J Teknologi Industri Pangan.* 34 (2): 179–186. doi:10.6066/jtip.2023.34.2.179
- Hamdy SM, El-Khayat Z, Farrag AR, Sayed ON, El-Sayed MM, Massoud D. 2022. Hepatoprotective effect of Raspberry ketone and white tea against acrylamide-induced toxicity in rats. *Drug Chem Toxicology.* 45 (2): 722–730. doi:10.1080/01480545.2020.1772279
- Hadi MHH, Ker PJ, Thiviyanathan VA, Tang SGH, Leong YS, Lee HJ, Hannan MA, Jamaludin MZ, Mahdi MA. 2021. The amber-colored liquid: a review on the color standards, methods of detection, issues and recommendations. *Sensors.* 21 (20): 6866. doi:10.3390/S21206866
- Jin J, Li J, Gan Y, Liu J, Zhao X, Chen J, Zhang R, Zhong Y, Chen X, Wu L, Xiang X, Zhou Y, He J, Li R, Guo J, Li Z. 2020. Tea consumption is associated with decreased disease activity of rheumatoid arthritis in a real-world, large-scale study. *Ann Nutr Metab.* 76 (1): 54–61. doi:10.1159/000505952
- Karadaş M, Demirbuğa S. 2017. Evaluation of color stability and surface roughness of bulk-fill resin composites and nanocomposites. *Meandros Med Dental J.* 18 (3): 199–205. doi:10.4274/meandros.36855
- Khan N, Afaq F, Mukhtar H. 2008. Cancer chemoprevention through dietary antioxidants: Progress and promise. *Antioxid Redox Signal.* 10 (3): 475–510. doi:10.1089/ars.2007.1740
- Kim Y, Goodner KL, Park J-D, Choi J, Talcott ST. 2011. Changes in antioxidant phytochemicals and volatile composition of *Camellia sinensis* by oxidation during tea fermentation. *Food Chem.* 129 (4): 1331–1342. doi:10.1016/j.foodchem.2011.05.012
- Kondo M, Hirano Y, Kita K, Jayanegara A, Yokota HO. 2014. Fermentation characteristics, tannin contents and in vitro ruminal degradation of green tea and black tea by-products ensiled at different temperatures. *Asian-Australas J Anim Sci.* 27 (7): 937–945. doi:10.5713/ajas.2013.13387
- Korkmaz N, Sener SO, Akkaya S, Badem M, Aliyazicioglu R, Abudayyak M, Oztas E, Ozgen U. 2019. Investigation of antioxidant, cytotoxic, tyrosinase inhibitory activities, and phenolic profiles of green, white, and black teas. *Turkish J Biochem.* 44 (3): 278–288. doi:10.1515/tjb-2017-0345
- Li Y, Chen C, Li Y, Ding Z, Shen J, Wang Y, Zhao L, Xu M. 2016. The identification and evaluation of two different color variations of tea. *J Sci Food Agric.* 96 (15): 4951–4961. doi:10.1002/jsfa.7897
- De Meutter J, Goormaghtigh E. 2021. Amino acid side chain contribution to protein FTIR spectra: impact on secondary structure evaluation. *Eur Biophys J.* 50(3–4): 641–651. doi:10.1007/s00249-021-01507-7
- Meyer BR, White HM, McCormack JD, Niemeyer ED. 2023. Catechin composition, phenolic content, and antioxidant properties of commercially-available bagged, gunpowder, and matcha green teas. *Plant Food Human Nutr.* 78 (4): 662–669. doi:10.1007/s11130-023-01121-2
- Mu L, Li T, Tang J, Liu L, Wang R. 2021. Effects of LED Light Withering on the Quality of White Tea. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 792 (1): 012018. doi:10.1088/1755-1315/792/1/012018
- Murtagh F, Heck A. 2012. *Multivariate Data Analysis. Illustrated.* Volume ke-131. Dordrecht (NE): Springer Netherlands.
- Muruges CS, Subramanian R. 2014. Applications of enzymes in processing green tea beverages. Di dalam: Preedy V, editor. *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages.* London (UK): Academic Press. hlm 99–108.

- Pou KRJ. 2016. Fermentation: the key step in the processing of black tea. *J Bios Eng.* 41 (2): 85–92. doi:10.5307/JBE.2016.41.2.085
- Prasetyaningtyas K. 2024. Pandangan Iklim 2024. *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. [diakses 7 Mei 2025]. <https://www.bmkg.go.id/iklim/buletin-iklim/climate-outlook-2024>.
- Purwaningtyas EF, Shobib A. 2022. Physicochemical characteristics of white tea product of PT. Perkebunan Nusantara IX (Kaligua Gardens) Pandansari Village, Paguyangan District, Brebes Regency. *Adv Sust Sci Eng Tech.* 4 (1): 0220106. doi:10.26877/asset.v4i1.11854
- Rivero-Cruz J, Rodríguez de San Miguel E, Robles-Obregón S, Hernández-Espino C, Rivero-Cruz BE, Pedraza-Chaverri J, Esturau-Escofet N. 2017. Prediction of antimicrobial and antioxidant activities of mexican propolis by ¹H-NMR spectroscopy and chemometrics data analysis. *Molecules.* 22 (7): 1184. doi:10.3390/molecules22071184
- Ruan L, Wei K, Wang L, Cheng H, Wu L, Li H. 2019. Characteristics of free amino acids (the quality chemical components of tea) under spatial heterogeneity of different nitrogen forms in tea (*Camellia sinensis*) plants. *Molecules.* 24 (3): 415–423. doi:10.3390/molecules24030415
- Saputri FC, Jantan I. 2011. Effects of selected medicinal plants on human low-density lipoprotein oxidation, 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals and human platelet aggregation. *J Med Plants Res.* 5 (26): 6182–6191. doi:10.5897/JMPR11.1114
- Shao C, Zhang C, Lv Z, Shen C. 2021. Pre- and post-harvest exposure to stress influence quality-related metabolites in fresh tea leaves (*Camellia sinensis*). *Sci Hortic.* 281: 109984. doi:10.1016/j.scienta.2021.109984
- Shi J, Wu W, Zhang Y, Baldermann S, Peng Q, Wang J, Xu L, Yang G, Fu J, Lv H, Lin Z. 2023. Comprehensive analysis of carotenoids constituents in purple-coloured leaves and carotenoid-derived aroma differences after processing into green, black, and white tea. *LWT.* 173: 114286. doi:10.1016/j.lwt.2022.114286
- Shimamura T, Sumikura Y, Yamazaki T, Tada A, Kashiwagi T, Ishikawa H, Matsui T, Sugimoto N, Akiyama H, Ukeda H. 2014. Applicability of the DPPH assay for evaluating the antioxidant capacity of food additives - Inter-laboratory evaluation study. *Anal Sci.* 30 (7): 717–721. doi:10.2116/analsci.30.717
- Silveira AC, Oliveira PF, Alves MG, Rato L, Silva BM. 2024. Daily white tea intake reprograms hepatic metabolism and improves the enzymatic antioxidant defence system of rats with prediabetes. *PharmaNutrition.* 28: 100393. doi:10.1016/j.phanu.2024.100393
- Silverstein RM, Webster FX, Kiemle D. 2014. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Ed ke-8. Yee J, Brennan D, editor. New Jersey (US): John Wiley & Sons, Inc.
- Simatupang M, Herawati D, Yuliana ND. 2023. Fingerprinting FTIR-ATR fraksi kopi robusta dan arabika serta korelasinya terhadap aktivitas antioksidan. *J Teknologi Industri Pangan.* 34 (1): 70–85. doi:10.6066/jtip.2023.34.1.70
- Su S, Long P, Zhang Q, Wen M, Han Z, Zhou F, Ke J, Wan X, Ho C-T, Zhang L. 2024. Chemical, sensory and biological variations of black tea under different drying temperatures. *Food Chem.* 446: 138827. doi:10.1016/j.foodchem.2024.138827
- Upadhyaya H, Panda SK, Dutta BK. 2008. Variation of physiological and antioxidative responses in tea cultivars subjected to elevated water stress followed by rehydration recovery. *Acta Physiol Plant.* 30 (4): 457–468. doi:10.1007/s11738-008-0143-9
- Wang J-Q, Fu Y-Q, Chen J-X, Wang F, Feng Z-H, Yin J-F, Zeng L, Xu Y-Q. 2022. Effects of baking treatment on the sensory quality and physicochemical properties of green tea with different processing methods. *Food Chem.* 380: 132217. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132217
- Wang Y, Fan K, Wang J, Ding Z tang, Wang H, Bi C hong, Zhang Y wei, Sun H wei. 2017. Proteomic analysis of *Camellia sinensis* (L.) reveals a synergistic network in the response to drought stress and recovery. *J Plant Physiol.* 219: 91–99. doi:10.1016/j.jplph.2017.10.001
- Wong M, Sirisena S, Ng K. 2022. Phytochemical profile of differently processed tea: A review. *J Food Sci.* 87(5): 1925–1942. doi:10.1111/1750-3841.16137
- Worley B, Powers R. 2016. PCA as a practical indicator of OPLS-DA model reliability. *Curr Metabolomics.* 4 (2): 97–103. doi:10.2174/2213235X04666160613122429
- Wrolstad RE, Smith DE. 2017. Color Analysis. Di dalam: Nielsen SS, editor. *Food Analysis*. Cham (CH): Springer. hlm 545–555. doi:10.1007/978-3-319-45776-5_31

- Yuliana ND, Prangdimurti E, Faridah DN. 2018. FTIR-Metabolomics to correlate sorghum's chemical profile and hct-116 cytotoxicity changes during rice-analogue production. *J Teknologi Industri Pangan*. 29 (2): 110–118. doi:10.6066/jtip.2018.29.2.110
- Zeng L, Zhou X, Su X, Yang Z. 2020. Chinese oolong tea: An aromatic beverage produced under multiple stresses. *Trends Food Sci Technol*. 106: 242–253. doi:10.1016/j.tifs.2020.10.001
- Zhou ZD, Xie SP, Saw WT, Ho PGH, Wang HY, Zhou L, Zhao Y, Tan EK. 2019. The therapeutic implications of tea polyphenols against dopamine (DA) neuron degeneration in parkinson's disease (PD). *Cells*. 8 (8): 911. doi:10.3390/cells8080911

JMP-10-24-31-Naskah diterima untuk ditelaah pada 23 April 2025. Revisi naskah disetujui untuk dipublikasi pada 10 Juni 2025. Versi Online: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jmpi>