OPTIMASI SUHU DAN WAKTU PENYEDUHAN TERHADAP KADAR FOSFOR (P) TEH DAUN KELAKAI (*STENOCHLAENA PALUSTRIS*) DENGAN PENAMBAHAN ASAM SITRAT (*CITRUS LIMON*)

Optimization of Brewing Temperature and Steeping Time for Enhancing the Phosphorus (P) Content of Kelakai Leaf Tea (Stenochlaena palustris) with Sitrat (Citrus limon) Addition

Husnul Chotimah[1], Ayutha Wijinindyah[2], Jerry Selvia[3], Susan E. Lumban Gaol[2], Harianty[4]

[1]Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Pertanian, Peternakan Dan Ekologi Perikanan, Universitas Antakusuma

[2]Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Peternakan Dan Ekologi Perikanan, Universitas Antakusuma

[3]Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Peternakan Dan Ekologi Perikanan, Universitas Antakusuma

[4]Program Sudi Budi Daya Perairan, Fakultas Pertanian, Peternakan Dan Ekologi Perikanan, Universitas Antakusuma

ABSTRACT. *Stenochlaena palustris is a wetland fern with potential for development as a functional food based on local biological resources. This study aimed to evaluate the effects of brewing temperature and steeping time on the phosphorus content of kelakai leaf tea supplemented with citric acid solution and to determine the optimum brewing conditions. The study was conducted in 2024 using kelakai leaves collected from Pangkalan Bun, West Kotawaringin Regency, Indonesia. A factorial Completely Randomized Design (CRD) was employed with two factors: brewing temperature (40°C, 50°C, and 60°C) and steeping time (1, 5, and 10 min), each with three replications. A 0.5% citric acid solution was used as the brewing medium. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. The results showed that brewing temperature, steeping time, and their interaction significantly affected phosphorus content ($p < 0.001$). The highest mean phosphorus content based on temperature was obtained at 50°C (102.015 ppm), while the highest mean based on steeping time was observed at 5 min (101.048 ppm). The optimum treatment combination was achieved at 50°C and 5 min, yielding a phosphorus content of 148.379 ppm. These findings indicate that optimization of brewing temperature and steeping time enhances phosphorus extraction from kelakai leaf tea.*

Keywords: *Kelakai Leaf Tea, Phosphorus, Brewing Temperature, Steeping Time, Sitrat Addition.*

ABSTRAK. Kelakai (*Stenochlaena palustris*) merupakan tumbuhan paku lahan basah yang berpotensi dikembangkan sebagai pangan fungsional berbasis sumber daya lokal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh suhu dan waktu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai yang memperoleh perlakuan pendahuluan berupa perendaman dalam larutan sari lemon (*Citrus limon*) serta mengidentifikasi kombinasi suhu dan waktu penyeduhan yang menghasilkan kadar fosfor tertinggi dalam rentang kondisi yang diuji. Sebelum proses pengeringan, daun kelakai direndam dalam larutan sari lemon (*Citrus limon*) 5% (v/v), kemudian dikeringkan, dihaluskan, dan dikemas dalam kantong teh. Percobaan disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu suhu penyeduhan (40°C, 50°C, dan 60°C) dan waktu penyeduhan (1, 5, dan 10 menit), dengan tiga ulangan independen pada setiap kombinasi perlakuan. Setiap kantong teh yang berisi 3 g serbuk daun kelakai diseduh menggunakan 100 mL air sesuai kombinasi perlakuan, kemudian seduhan teh yang dihasilkan dianalisis untuk menentukan kadar fosfor (P). Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu penyeduhan, waktu penyeduhan, dan interaksi keduanya berpengaruh sangat nyata terhadap kadar fosfor (P) ($p<0,001$). Kombinasi perlakuan T2P2 (suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit) menghasilkan kadar fosfor tertinggi sebesar 148,379 ppm, sedangkan kombinasi perlakuan T1P1 (suhu 40°C dan waktu penyeduhan 1 menit) menghasilkan kadar fosfor terendah sebesar 19,072 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi suhu dan waktu penyeduhan memengaruhi jumlah fosfor yang

terekstraksi ke dalam seduhan teh daun kelakai, dengan perlakuan T2P2 menghasilkan kadar fosfor tertinggi dalam rentang kondisi yang diuji.

Kata kunci: Teh Daun Kelakai; Fosfor (P); Suhu Penyeduhan; Waktu Penyeduhan; Asam Sitrat.

Penulis untuk korespondensi, Husnul Chotimah, surel: husnulfahutan@gmail.com

PENDAHULUAN

Kelakai (*Stenochlaena palustris*) merupakan tanaman paku yang banyak ditemukan pada ekosistem rawa dan gambut di Kalimantan serta telah lama dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan pangan dan tanaman herbal (Hujjatusnaini *et al*., 2022; Chotimah *et al*., 2024 (1); Wijinindyah *et al*., 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kelakai mengandung beragam zat gizi yang bermanfaat bagi kesehatan, seperti vitamin, mineral, serat, dan senyawa bioaktif (Putri *et al*., 2023). Selain itu, kelakai juga diketahui memiliki aktivitas antioksidan yang berpotensi mendukung kesehatan tubuh. Potensi tersebut menjadikan kelakai sebagai salah satu sumber daya hayati lokal yang dapat dikembangkan menjadi produk pangan fungsional bernilai tambah (Pandiangan *et al*., 2022).

Masyarakat umumnya mengolah kelakai sebagai sayuran untuk konsumsi sehari-hari (Chotimah *et al*., 2024 (2)). Seiring perkembangan teknologi pangan, kelakai juga telah diolah menjadi berbagai produk seperti kerupuk, tepung, dan minuman herbal. Namun, beberapa metode pengolahan berpotensi menyebabkan penurunan kandungan zat gizi akibat proses pemanasan yang berlebihan. (Wijinindyah *et al*., 2023 (2)). Salah satu alternatif pengolahan yang dinilai praktis dan mampu mempertahankan kandungan nutrisi adalah pengolahan dalam bentuk teh herbal. Teh daun kelakai memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai minuman fungsional karena mudah dikonsumsi, memiliki daya simpan yang lebih lama, dan dapat diterima oleh berbagai kelompok masyarakat (Wijinindyah *et al*., 2023 (3); Irawan *et al*., 2022).

Fosfor (P) merupakan salah satu mineral esensial yang berperan penting dalam pembentukan tulang dan gigi, metabolisme energi, serta pertumbuhan dan perkembangan tubuh (Ciosek *et al*., 2021). Ketersediaan fosfor yang memadai diperlukan untuk mendukung berbagai fungsi fisiologis tersebut. Oleh karena itu, identifikasi kandungan fosfor pada berbagai sumber pangan lokal menjadi penting sebagai upaya penyediaan informasi nilai gizi bahan pangan yang tersedia di masyarakat. Kajian mengenai kandungan fosfor pada produk pangan lokal perlu dilakukan untuk mengetahui potensinya sebagai sumber mineral dan sebagai dasar pengembangan pangan lokal bernilai gizi, khususnya di daerah yang memiliki sumber daya hayati melimpah seperti Kabupaten Kotawaringin Barat.

Kandungan mineral yang terekstraksi ke dalam seduhan teh dipengaruhi suhu dan waktu penyeduhan. Suhu penyeduhan yang berbeda dapat memengaruhi proses pelepasan mineral dari jaringan tanaman ke dalam pelarut. Lamanya waktu penyeduhan menentukan tingkat kontak antara bahan dan pelarut sehingga memengaruhi jumlah senyawa yang terlarut. Penggunaan bahan pengasam mampu meningkatkan kelarutan beberapa mineral melalui perubahan kondisi kimia larutan. Bahan yang digunakan dalam industri pangan adalah asam sitrat yang terdapat pada sitrat (*Citrus limon*). Asam sitrat memiliki kemampuan meningkatkan proses ekstraksi senyawa tertentu sehingga berpotensi meningkatkan kandungan mineral yang larut dalam minuman herbal. hari (Chotimah *et al*., 2024 (1) ; Chotimah *et al*., 2024 (2))

Penambahan perlakuan asam sitrat pada pengolahan teh daun kelakai mampu memperbaiki karakteristik sensori dan meningkatkan kualitas produk hari. Larutan asam sitrat 0,5% yang dibuat dengan mencampurkan 50 mL larutan asam sitrat ke dalam 950 mL air suling. Keberadaan asam sitrat diduga dapat membantu proses pelepasan mineral dari jaringan daun kelakai selama proses penyeduhan sehingga meningkatkan kandungan fosfor (P) yang terlarut dalam seduhan teh (Chotimah *et al*., 2024 (2)).

Penelitian ini merupakan bagian dari rangkaian penelitian pengembangan teh daun kelakai dengan perlakuan asam sitrat (Chotimah *et al*., 2024 (2)) Penelitian

sebelumnya menunjukkan bahwa teh daun kelakai dengan perlakuan asam sitrat menghasilkan kadar kalsium tertinggi pada suhu 60°C dan waktu penyeduhan 5 menit (Chotimah *et al*., 2024 (1). Informasi mengenai pengaruh suhu dan waktu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P) pada teh daun kelakai yang telah diberi perlakuan asam sitrat masih sangat terbatas. Selain itu, belum terdapat informasi mengenai karakteristik kadar fosfor (P) pada teh daun kelakai yang berasal dari Kota Pangkalan Bun, Kabupaten Kotawaringin Barat. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan informasi yang perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu dan waktu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai (*Stenochlaena palustris*) dengan perlakuan asam sitrat (*Citrus limon*) serta menentukan kondisi penyeduhan yang menghasilkan kadar fosfor (P) tertinggi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai potensi pemanfaatan kelakai sebagai pangan lokal berbasis sumber daya hayati lahan basah yang mendukung upaya pencegahan stunting dan pengembangan produk pangan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode penelitian yang bertujuan untuk menguji pengaruh suatu perlakuan terhadap objek penelitian melalui kondisi yang dikendalikan sehingga hipotesis penelitian dapat diuji secara empiris (Sugiyono, 2022). Pengeringan bahan uji dilakukan di Laboratorium Produksi Peternakan dan Laboratorium Agribisnis Fakultas Pertanian Universitas Antakusuma (UNTAMA). Analisis kadar fosfor (P) dilakukan di Laboratorium Nutrisi Pakan Institut Pertanian Bogor (IPB). Sampel terlebih dahulu didestruksi menggunakan campuran asam nitrat (HNO_3) dan asam perklorat ($HClO_4$), kemudian dianalisis sesuai prosedur operasional yang berlaku di laboratorium pengujian. Hasil analisis dinyatakan dalam satuan ppm..

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi ember sebagai wadah perendaman sampel, tampah bambu sebagai media penyaringan, alat pemeras jeruk untuk mengekstraksi sari jeruk sitrat, oven untuk proses pengeringan bahan uji, desikator untuk menstabilkan suhu sampel setelah pengeringan, pH meter untuk mengukur derajat keasaman (pH) larutan perendaman, timbangan digital untuk menentukan bobot serbuk kelakai, serta blender untuk menghaluskan bahan uji.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa daun kelakai (*Stenochlaena palustris*) yang diperoleh dari wilayah Kecamatan Sidorejo dan Kecamatan Madurejo, Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah. Sampel kelakai diambil dari lokasi dengan karakteristik lahan yang berbeda, yaitu lahan kering, lahan basah, dan lahan semi rawa. Bahan yang digunakan sebagai perlakuan pendahuluan (*pretreatment*) berupa buah lemon (*Citrus limon*) yang digunakan sebagai sumber asam alami. Larutan perlakuan dibuat dengan mencampurkan 50 mL sari lemon hasil perasan buah segar ke dalam 950 mL air suling sehingga diperoleh larutan sari lemon 5% (v/v).

Proses pengeringan bahan dilakukan sebagai berikut: daun kelakai yang telah dipanen sebanyak 500 g direndam dalam larutan sari lemon (*Citrus limon*) 5% (v/v) yang dibuat dengan mencampurkan 50 mL sari lemon hasil perasan buah segar ke dalam 950 mL air suling. Sampel kemudian dibersihkan, direndam selama periode perlakuan, dan dilakukan pengukuran derajat keasaman (pH) larutan. Setelah proses perendaman, daun kelakai ditiriskan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50°C hingga mencapai kadar air ≤10% (Wijinindyah *et al*., 2022). Berdasarkan hasil pengamatan, proses penanganan dan pengeringan satu batch daun kelakai hingga mencapai kadar air ≤10% memerlukan waktu sekitar tiga hari. Lama pengeringan efektif di dalam oven berkisar 6 jam pada suhu 50°C, sedangkan sisa waktu digunakan untuk proses penirisan, pendinginan, dan penanganan sampel sebelum tahap penghalusan. Sampel yang telah mencapai kadar air ≤10% selanjutnya dihaluskan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan berukuran 80 mesh untuk memperoleh serbuk dengan ukuran yang seragam. Serbuk yang dihasilkan kemudian ditimbang dan dikemas ke dalam kantong teh. Setiap kantong teh diisi dengan 3 g serbuk daun kelakai (Husnul *et al*., 2024). Proses penyeduhan dilakukan menggunakan 100 mL air sesuai suhu perlakuan (40°C, 50°C, dan 60°C) dengan lama penyeduhan 1 menit, 5 menit, dan 10 menit. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali

sebagai ulangan eksperimen independen. Dengan demikian, rasio bahan terhadap pelarut yang digunakan dalam penelitian ini adalah 3 g serbuk daun kelakai per 100 mL air. Data kadar fosfor yang dianalisis merupakan hasil konversi pengukuran laboratorium ke dalam satuan ppm.

Pretreatment asam sitrat digunakan sebagai perlakuan pendahuluan untuk meningkatkan efisiensi pengeringan dan mempertahankan kualitas nutrisi daun kelakai. Perlakuan ini berperan dalam menurunkan kandungan senyawa antinutrisi, terutama asam oksalat dan asam fitat, yang dapat menghambat ketersediaan hayati mineral. Penurunan kandungan senyawa antinutrisi tersebut berpotensi meningkatkan ketersediaan mineral kalsium dan besi pada produk yang dihasilkan (Wijinindyah *et al.,* 2023(1)). Penggunaan *pretreatment* asam sitrat terbukti mempercepat proses pengeringan daun kelakai. Waktu pengeringan pada sampel yang diberi perlakuan asam sitrat tercatat sekitar 6 jam, sedangkan sampel tanpa perlakuan memerlukan waktu sekitar 11 jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan asam sitrat dapat meningkatkan efisiensi proses pengeringan secara signifikan (Husnul *et al.,* 2024(1)).

Teh diperoleh melalui proses penyeduhan kantong teh yang berisi serbuk daun kelakai. Suhu dan waktu penyeduhan ditetapkan pada 40°C, 50°C, dan 60°C dengan lama penyeduhan 1 menit, 5 menit, dan 10 menit. Kondisi penyeduhan tersebut berpengaruh terhadap tingkat ekstraksi senyawa bioaktif dan komponen mineral yang larut ke dalam larutan teh. Peningkatan suhu dan waktu penyeduhan umumnya meningkatkan pelepasan senyawa fenolik, flavonoid, serta mineral dari bahan tanaman ke dalam seduhan, meskipun kondisi berlebih dapat menyebabkan degradasi senyawa tertentu sehingga diperlukan pengendalian kondisi ekstraksi yang optimal (Cheng *et al*., 2023; Kowalska *et a*l., 2024).

Suhu dan lama penyeduhan merupakan parameter yang berpengaruh terhadap kualitas seduhan teh herbal karena menentukan efisiensi ekstraksi senyawa yang larut dalam air. Perbedaan metode penyeduhan ditemukan pada berbagai negara sesuai dengan jenis teh dan preferensi konsumennya. Di Tiongkok, teh hijau umumnya diseduh pada suhu 70–80°C, teh oolong pada suhu 80–90°C, dan teh hitam pada suhu sekitar 100°C dengan durasi penyeduhan 20–40 detik. Penyeduhan dapat dilakukan berulang menggunakan bahan yang sama hingga beberapa kali siklus. Di Jepang, proses penyeduhan umumnya berlangsung selama sekitar dua menit dengan frekuensi penyeduhan ulang sebanyak dua hingga tiga kali (Cheng *et al*., 2023).

Analisis kadar fosfor (P) dilakukan terhadap larutan hasil seduhan teh daun kelakai yang diperoleh dari setiap kombinasi perlakuan suhu dan waktu penyeduhan. Serbuk daun kelakai yang telah dikemas dalam kantong teh diseduh menggunakan 100 mL air sesuai suhu perlakuan (40°C, 50°C, dan 60°C) selama 1 menit, 5 menit, dan 10 menit. Larutan hasil seduhan kemudian digunakan sebagai sampel untuk analisis fosfor (P). Analisis fosfor dilakukan di Laboratorium Nutrisi Pakan Institut Pertanian Bogor (IPB). Sampel hasil seduhan terlebih dahulu dipersiapkan melalui proses destruksi menggunakan asam nitrat (HNO_3) dan asam perklorat ($HClO_4$) sesuai prosedur operasional laboratorium sebelum dilakukan pengukuran kadar fosfor.

Larutan hasil destruksi kemudian diencerkan dengan akuades hingga volume 100 mL dalam labu takar dan disaring menggunakan kertas saring Whatman hingga diperoleh filtrat jernih. Filtrat yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk penentuan kadar fosfor (P) sesuai prosedur operasional yang berlaku di Laboratorium Nutrisi Pakan Institut Pertanian Bogor (IPB). Hasil analisis diperoleh dari laporan laboratorium dalam satuan ppm dan digunakan sebagai dasar perhitungan kadar fosfor pada setiap perlakuan suhu dan waktu penyeduhan. Dalam penelitian ini, nilai kadar fosfor disajikan sesuai satuan yang tercantum pada laporan hasil pengujian laboratorium.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dua faktor dalam analisis data. Faktor pertama adalah suhu penyeduhan (T), sedangkan faktor kedua adalah waktu penyeduhan (F). Masing-masing faktor terdiri atas tiga taraf perlakuan, yaitu suhu 40°C, 50°C, dan 60°C serta waktu penyeduhan 1 menit, 5 menit, dan 10 menit.

Setiap kombinasi perlakuan dilakukan dengan tiga ulangan. Penentuan jumlah ulangan didasarkan pada prinsip kecukupan replikasi dalam rancangan percobaan untuk meningkatkan ketelitian dan mengurangi galat percobaan (Stephens, 2024; Ruíz *et al*., 2024). Kombinasi perlakuan yang diperoleh terdiri

atas 9 kombinasi, sehingga total unit percobaan sebanyak 27 unit, dengan satu unit percobaan berupa satu kantong teh.

Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 21 pada taraf signifikansi 5%. Apabila terdapat perbedaan yang nyata, analisis dilanjutkan dengan DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5%.

Tabel 1. Tabulasi Rancangan Percobaan

Suhu Penyeduhan	Waktu Pencelupan		
	P_1	P_2	P_3
T_1	T1P1	T1P2	T_1P_3
T_2	T2P1	T_2P_2	T_2P_3
T_3	T3P1	T_3P2	T_3P_3

Keterangan:
T1 : Suhu Penyeduhan 400C
T2 : Suhu Penyeduhan 500C
T3 : Suhu Penyeduhan 600C
P1 : Lama Penyeduhan selama 1 menit
P2 : Lama Penyeduhan selama 5 menit
P3 : Lama Penyeduhan selama 10 menit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis statistik deskriptif menunjukkan bahwa kadar fosfor (P) teh daun kelakai bervariasi pada setiap perlakuan suhu dan waktu penyeduhan. Berdasarkan faktor suhu, kadar fosfor (P) rata-rata tertinggi diperoleh pada suhu penyeduhan 50°C yaitu sebesar 102,015 ppm, diikuti suhu 40°C sebesar 66,494 ppm, dan suhu 60°C sebesar 49,969 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu penyeduhan sedang (50°C) lebih efektif dalam mengekstraksi fosfor (P) dibandingkan suhu yang lebih rendah maupun lebih tinggi. Hasil disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Fosfor (P) Pada Teh Daun Kelakai (*Stenochlarna palutris*) Dipengaruhi Faktor Suhu.

Suhu	Rata-rata (P) (ppm)
40°C (T_1)	66,494
50°C (T_2)	102,015
60°C (T_3)	49,969

Berdasarkan faktor waktu penyeduhan, kadar fosfor (P) rata-rata tertinggi diperoleh pada waktu penyeduhan 5 menit yaitu sebesar 101,048 ppm, diikuti waktu penyeduhan 10 menit sebesar 80,769 ppm, dan waktu penyeduhan 1 menit sebesar 36,661 ppm. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu penyeduhan hingga 5 menit mampu meningkatkan pelepasan fosfor (P) ke dalam seduhan, namun penyeduhan yang lebih lama tidak selalu menghasilkan peningkatan kadar fosfor (P). Hasil dijasikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kadar Fosfor (P) Pada Teh Daun Kelakai (*Stenochlarna palutris*) Dipengaruhi Faktor Waktu.

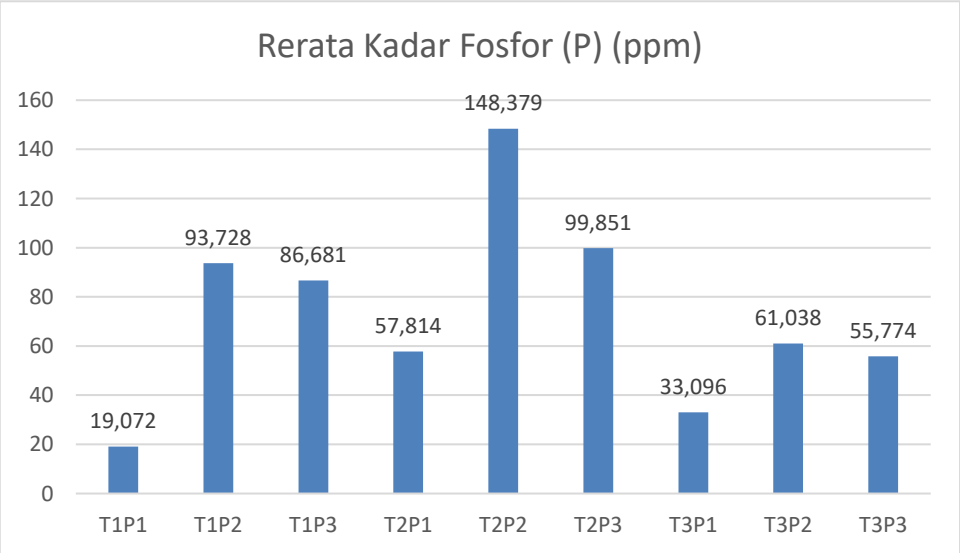
Waktu	Rata-rata Fosfor (P) (ppm)
1 menit (P_1)	36,661
5 menit (P_2)	101,048
10 menit (P_3)	80,769

Hasil kombinasi perlakuan, kadar fosfor (P) tertinggi diperoleh pada perlakuan T2P2 (suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit) sebesar 148,379 ppm, sedangkan kadar fosfor (P) terendah diperoleh pada perlakuan T1P1 (suhu 40°C dan waktu penyeduhan 1 menit) sebesar 19,072 ppm. Perbedaan nilai antar kombinasi perlakuan menunjukkan bahwa suhu dan waktu penyeduhan berperan penting dalam menentukan jumlah fosfor (P) yang dapat terekstraksi dari daun kelakai. Secara umum, kombinasi suhu sedang dan waktu penyeduhan menengah menghasilkan kadar fosfor (P) yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya. Hasil disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 1.

Tabel 4. Kadar Fosfor (P) (P) Pada Teh Daun Kelakai (*Stenochlarna palutris*)

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata (ppm)
	I	II	III		
T_1P_1	16,115	19,072	22,029	57,216	19,072
T_1P_2	92,387	93,728	95,069	281,184	93,728
T_1P_3	89,727	86,681	83,635	260,043	86,681
T_2P_1	53,467	57,814	62,161	173,442	57,814
T_2P_2	158,473	148,379	138,285	445,137	148,379
T_2P_3	95,504	99,851	104,198	299,553	99,851
T_3P_1	27,315	33,096	38,877	99,288	33,096
T_3P_2	51,859	61,038	70,217	183,114	61,038
T_3P_3	48,216	55,774	63,332	167,322	55,774

Keterangan :
T : Suhu Penyeduhan
P : Lama Penyeduhan



Gambar 1. Rerata Kadar Fosfor (P) (P) pada Teh Daun Kelakai (*Stenochlarna palutris*)

Hasil uji normalitas menggunakan Shapiro–Wilk menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,221 (p>0,05), yang mengindikasikan bahwa data kadar fosfor (P) teh daun kelakai berdistribusi normal. Sementara itu, uji homogenitas varians menggunakan Levene menghasilkan nilai signifikansi sebesar 0,495 (p>0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian, data penelitian telah memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas sehingga layak dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) faktorial. Hasil disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Uji Asumsi ANOVA Kadar Fosfor (P) pada Teh Daun Kelakai (*Stenochlarna palutris*)

Uji Asumsi	Statistik Uji	Sig. (p-value)	Keterangan
Shapiro–Wilk	0,951	0,221	Data berdistribusi normal
Levene	0,960	0,495	Varians homogen

Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa suhu penyeduhan, waktu penyeduhan, dan interaksi antara kedua faktor tersebut berpengaruh sangat nyata ($p<0,001$) terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai (Tabel 1). Faktor suhu penyeduhan menghasilkan nilai F hitung sebesar 171,366, sedangkan faktor waktu penyeduhan menghasilkan nilai F hitung sebesar 262,592. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan suhu dan lamanya waktu penyeduhan secara signifikan memengaruhi jumlah fosfor (P) yang terekstraksi ke dalam seduhan teh daun kelakai. Berdasarkan nilai F hitung, faktor waktu penyeduhan memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan faktor suhu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P) yang dihasilkan.

Tabel 6. Analisis Ragam (ANOVA) Kadar Fosfor (P) Teh Daun Kelakai (*Stenochlarna palutris*) Pada Berbagai Suhu Dan Waktu Penyeduhan.

Sumber Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F Hitung	Sig.
Suhu Penyeduhan (T)	2	12.730,535	6.365,268	171,366	**
Waktu Penyeduhan (P)	2	19.507,656	9.753,828	262,592	**
Interaksi T × P	4	4.333,351	1.083,338	29,166	**
Galat	18	668,599	37,144	-	-
Total	26	37.240,141	-	-	-

Keterangan: ** = berpengaruh sangat nyata pada taraf $\alpha = 0,01$ ($p < 0,01$)

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu penyeduhan, waktu penyeduhan, dan interaksi antara keduanya berpengaruh sangat nyata ($p<0,001$) terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai (Tabel 6). Nilai F hitung tertinggi diperoleh pada faktor waktu penyeduhan (262,592), diikuti oleh suhu penyeduhan (171,366), sedangkan interaksi suhu dan waktu penyeduhan menghasilkan nilai F hitung sebesar 29,166. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar fosfor (P) teh daun kelakai dipengaruhi oleh suhu penyeduhan, waktu penyeduhan, serta kombinasi kedua faktor tersebut.

Interaksi antara suhu dan waktu penyeduhan menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai dengan nilai F hitung sebesar 29,166 ($p<0,001$). Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh suhu penyeduhan terhadap kadar fosfor tidak dapat dipisahkan dari lama waktu penyeduhan yang digunakan, demikian pula sebaliknya. Dengan adanya interaksi yang signifikan, interpretasi hasil penelitian lebih tepat didasarkan pada kombinasi perlakuan dibandingkan pada pengaruh faktor suhu atau waktu secara terpisah. Oleh karena itu, pembahasan difokuskan pada kombinasi perlakuan yang menghasilkan kadar fosfor tertinggi dan terendah berdasarkan hasil uji lanjut DMRT. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan T2P2 (suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit) menghasilkan kadar fosfor tertinggi sebesar 148,379 ppm, sedangkan kombinasi perlakuan T1P1 (suhu 40°C dan waktu penyeduhan 1 menit) menghasilkan kadar fosfor terendah sebesar 19,072 ppm. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas ekstraksi fosfor pada teh daun kelakai ditentukan oleh kombinasi suhu dan waktu penyeduhan yang digunakan. Kombinasi suhu dan waktu yang sesuai diduga mampu mendukung pelepasan fosfor dari matriks daun ke dalam larutan seduhan secara lebih efektif dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya.

Koefisien keragaman (KK) yang diperoleh sebesar 8,38%, menunjukkan bahwa percobaan memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dengan keragaman data yang relatif rendah. Nilai KK yang berada di bawah 10% mengindikasikan bahwa kondisi percobaan berlangsung secara cukup seragam dan

pengaruh perlakuan yang diberikan dapat diamati dengan baik. Rendahnya nilai koefisien keragaman juga menunjukkan bahwa kesalahan percobaan relatif kecil sehingga hasil penelitian memiliki tingkat presisi dan reliabilitas yang baik dalam menjelaskan pengaruh suhu dan waktu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai. Data kadar fosfor yang digunakan dalam analisis statistik merupakan hasil perhitungan dan konversi dari hasil pengujian laboratorium yang kemudian dinyatakan dalam satuan ppm sebelum dilakukan analisis ragam. Seluruh data telah diverifikasi kembali dengan hasil pengujian laboratorium yang tersedia. Analisis dilanjutkan dengan uji lanjut DMRT untuk mengidentifikasi kombinasi perlakuan yang menghasilkan kadar fosfor (P) terbaik. Hasil disajikan pada Tabel 7.

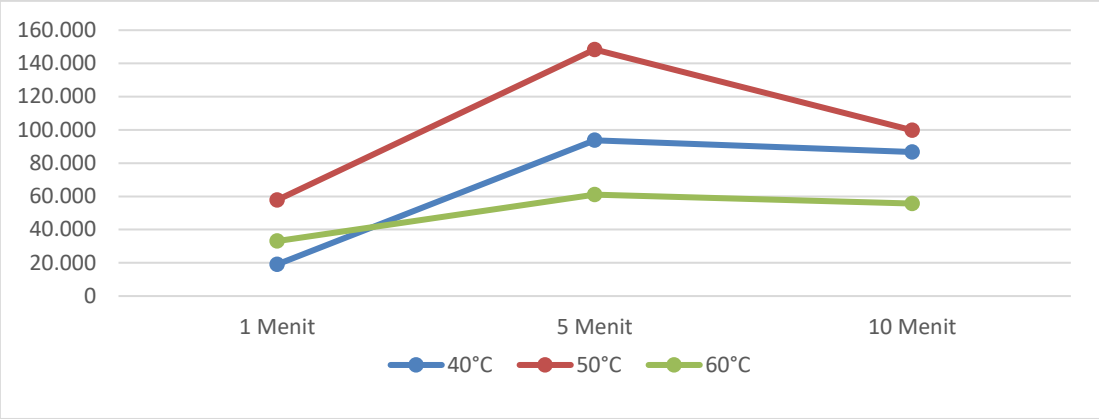
Tabel 7. Uji Lanjut DMRT 5% Kadar Fosfor (P) Pada Kombinasi Suhu Dan Waktu Penyeduhan

Perlakuan	Kadar Fosfor (P) (ppm)	Notasi DMRT 5%
T_2P_2	148,379 ± 10,094	a
T_2P_3	99,851 ± 4,347	b
T_1P_2	93,728 ± 1,341	bc
T_1P_3	86,681 ± 3,046	c
T_3P_2	61,038 ± 9,179	d
T_2P_1	57,814 ± 4,347	d
T_3P_3	55,774 ± 7,558	d
T_3P_1	33,096 ± 5,781	e
T_1P_1	19,072 ± 2,957	f

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf 5%.

Hasil uji lanjut DMRT 5% menunjukkan bahwa perlakuan T_2P_2 (suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit) menghasilkan kadar fosfor (P) tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Perlakuan T_2P_3, T_1P_2, dan T_1P_3 menghasilkan kadar fosfor (P) yang relatif tinggi, namun masih lebih rendah dibandingkan T_2P_2. Perlakuan dengan kadar fosfor (P) terendah diperoleh pada T_1P_1 (40°C dan 1 menit), yang berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi suhu penyeduhan dan waktu penyeduhan berperan penting dalam meningkatkan ekstraksi fosfor (P) dari daun kelakai.

Grafik (Gambar 2) interaksi menunjukkan bahwa pengaruh suhu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P) dipengaruhi oleh lama waktu penyeduhan. Pada semua tingkat suhu, kadar fosfor (P) meningkat dari waktu penyeduhan 1 menit hingga 5 menit, kemudian mengalami penurunan pada waktu penyeduhan 10 menit. Kombinasi suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit menghasilkan kadar fosfor (P) tertinggi sebesar 148,379 ppm. Pola garis yang tidak sejajar mengindikasikan adanya interaksi antara suhu dan waktu penyeduhan, yang diperkuat oleh hasil analisis ragam yang menunjukkan interaksi kedua faktor berpengaruh sangat nyata terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai ($p<0,001$).



Gambar 2. Grafik Interaksi suhu dan waktu penyeduhan terhadap kadar fosfor (P).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu penyeduhan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai. Rata-rata kadar fosfor tertinggi diperoleh pada suhu 50°C, sedangkan suhu 60°C menghasilkan kadar fosfor yang lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu tidak selalu diikuti oleh peningkatan jumlah fosfor yang terekstraksi ke dalam larutan. Pada suhu yang lebih tinggi, fosfor tidak mengalami degradasi karena merupakan unsur mineral, namun perubahan kondisi ekstraksi dapat memengaruhi kelarutan dan distribusinya dalam sistem. Penurunan kadar fosfor terukur pada suhu yang lebih tinggi diduga berkaitan dengan terbentuknya interaksi antara fosfor dan komponen matriks tanaman, seperti fitat atau senyawa mineral lainnya, yang dapat memengaruhi ketersediaan fosfor terlarut dalam seduhan. Selain itu, perubahan pH selama proses penyeduhan juga dapat memengaruhi bentuk kimia fosfor dan tingkat kelarutannya dalam larutan. Oleh karena itu, suhu penyeduhan yang terlalu tinggi tidak selalu menghasilkan ekstraksi fosfor yang lebih besar dibandingkan suhu sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa suhu 50°C merupakan kondisi yang lebih mendukung pelepasan fosfor terlarut dari matriks daun kelakai ke dalam larutan seduhan. Kelakai diketahui mengandung berbagai mineral dan senyawa bioaktif yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber pangan fungsional berbasis sumber daya lokal (Pandiangan *et al*., 2022; Hujjatusnaini *et al*., 2022).

Faktor waktu penyeduhan juga memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai. Rata-rata kadar fosfor (P) tertinggi diperoleh pada waktu penyeduhan 5 menit, sedangkan penyeduhan selama 1 menit menghasilkan kadar fosfor (P) terendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu kontak antara bahan dan pelarut memegang peranan penting dalam proses ekstraksi mineral. Pada waktu penyeduhan yang terlalu singkat, proses pelepasan fosfor (P) dari jaringan daun belum berlangsung secara maksimal. Sebaliknya, peningkatan waktu penyeduhan hingga 10 menit tidak menghasilkan peningkatan kadar fosfor (P), bahkan cenderung menurun dibandingkan waktu 5 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa proses ekstraksi memiliki titik optimum tertentu, sehingga penambahan waktu penyeduhan setelah mencapai kondisi optimum tidak selalu meningkatkan jumlah mineral yang terlarut.

Interaksi antara suhu dan waktu penyeduhan menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar fosfor (P) teh daun kelakai. Kombinasi perlakuan suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit menghasilkan kadar fosfor (P) tertinggi sebesar 148,379 ppm, sedangkan kombinasi suhu 40°C dan waktu penyeduhan 1 menit menghasilkan kadar fosfor (P) terendah sebesar 19,072 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas suhu penyeduhan sangat dipengaruhi oleh lamanya waktu kontak antara daun kelakai dan pelarut. Pola yang terlihat pada grafik interaksi menunjukkan bahwa peningkatan suhu hingga 50°C mampu meningkatkan ekstraksi fosfor (P) secara optimal ketika dikombinasikan dengan waktu penyeduhan 5 menit. Namun, ketika suhu atau waktu penyeduhan melebihi kondisi optimum, kadar fosfor (P) yang terlarut cenderung menurun. Fenomena ini mengindikasikan adanya hubungan yang kompleks antara suhu dan waktu dalam menentukan efisiensi ekstraksi mineral dari bahan nabati.

Keberadaan fosfor (P) dalam seduhan teh daun kelakai pada penelitian ini diduga turut dipengaruhi oleh penggunaan sari lemon (*Citrus limon*) 5% (v/v) sebagai bagian dari perlakuan pendahuluan. Sari lemon diketahui mengandung asam organik yang berpotensi memengaruhi kelarutan mineral melalui penurunan pH larutan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa kondisi larutan yang lebih asam dapat meningkatkan pelepasan unsur mineral dari bahan tanaman ke dalam seduhan (Karwowska dan Ambroziak, 2015; Kleszcz dan Michoń, 2023). Namun demikian, penelitian ini tidak menggunakan perlakuan pembanding tanpa penambahan sari lemon sehingga pengaruh spesifik sari lemon terhadap peningkatan ekstraksi fosfor tidak dapat dibuktikan secara langsung. Oleh karena itu, peran sari lemon dalam meningkatkan pelepasan fosfor pada penelitian ini perlu dipandang sebagai dugaan yang didukung oleh literatur dan memerlukan pengujian lebih lanjut melalui rancangan penelitian yang melibatkan perlakuan kontrol.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelakai (*Stenochlaena palustris*) memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai minuman fungsional berbasis sumber daya hayati lahan basah. Tingginya kadar fosfor (P) yang diperoleh pada kondisi penyeduhan optimum menunjukkan bahwa pengolahan yang tepat dapat meningkatkan ketersediaan mineral dari bahan pangan lokal. Fosfor (P) merupakan mineral esensial yang berperan dalam pembentukan tulang dan metabolisme energi sehingga keberadaannya penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tubuh. Dengan demikian, pemanfaatan teh daun kelakai sebagai produk pangan lokal tidak hanya mendukung diversifikasi pangan berbasis sumber daya hayati daerah, tetapi juga berpotensi mendukung upaya peningkatan kualitas gizi masyarakat melalui pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan (Pandiangan *et al*., 2022; Putri *et al*., 2023).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Suhu penyeduhan, waktu penyeduhan, dan interaksi antara keduanya berpengaruh terhadap kadar fosfor (P) pada teh daun kelakai (*Stenochlaena palustris*) yang memperoleh perlakuan pendahuluan berupa perendaman dalam sari lemon (*Citrus limon*). Karena terdapat interaksi yang nyata antara suhu dan waktu penyeduhan, interpretasi hasil lebih tepat didasarkan pada kombinasi perlakuan. Kombinasi suhu 50°C dan waktu penyeduhan 5 menit (T2P2) menghasilkan kadar fosfor tertinggi sebesar 148,379 ppm, sedangkan kombinasi suhu 40°C dan waktu penyeduhan 1 menit (T1P1) menghasilkan kadar fosfor terendah sebesar 19,072 ppm. Dengan demikian, kombinasi T2P2 merupakan kombinasi perlakuan terbaik dalam rentang kondisi yang diuji untuk menghasilkan kadar fosfor tertinggi pada seduhan teh daun kelakai.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi asam sitrat (sitrat) pada unsur Zink di teh daun kelakai (*Stenochlaena palustris*), sebagai kelanjutan penelitian sebelumnya. Sehingga data hasil penelitian mineral teh kelakai (*Stenochlaena palustris*) dengan pretreatmen asam sitrat lebih konferensif.

DAFTAR PUSTAKA

Cheng, Y., Xue, F., Yang, Y. 2023. Hot water extraction of antioxidants from tea leaves: Optimization of brewing conditions for preparing antioxidant-rich tea drinks. *Molecules, 28*(7), 3030. https://doi.org/10.3390/molecules28073030

Chotimah, H., Wijinidyah, A., Selvia, J. 2024 (2). Pengaruh Suhu Dan Lama Penyeduhan Terhadap Kadar Kalsium (Ca) Teh Daun Kelakai (Stenochlarna Palutris) Dengan Treatment Asam Sitrat (Citrus Limon). *Tengkawang: Jurnal Ilmu Kehutanan*, *14*(1).

Chotimah, H., Wijinidyah, A., Selvia, J., Lumban Gaol, S. E. 2024 (1). Pengaruh Suhu dan Waktu Penyeduhan Teh Daun Kelakai (Stenochlarna Palutris) Dengan Treatmen Asam Sitrat (Citrus Limon) Terhadap Kadar Besi (Fe). *Jurnal Sylva Scienteae*, *7*(4), 662-672.

Ciosek, Ż., Kot, K., Kosik-Bogacka, D., Łanocha-Arendarczyk, N., & Rotter, I. 2021. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Biomolecules*, *11*(4), 506

Hujjatusnaini, N., Puspitasari, E., Amin, A. M. 2022. Analysis of botanical composition and potential of kelakai leaves (Stenochlaena palustris) of peat swamp plants in Central Kalimantan as medicinal plants. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA),* *4*(2), 222–229. https://doi.org/10.36378/juatika.v4i2.2221

Irawan, D., Sari, N., & Kusuma, A. 2022. Phytochemical compounds and biological activities of *Stenochlaena palustris*: *A review. Biodiversitas*, 23(8), 4120–4128.

Karwowska, M., Ambroziak, W. 2015. Determination of antioxidant activity, rutin, quercetin, phenolic acids and trace elements in tea infusions: Influence of citric acid addition on extraction of metals. *Journal of Food Composition and Analysis***,** 40, 70–77. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.015

Kowalska, G., Danikiewicz, D., Kowalska, K. 2024. The effect of brewing time on the antioxidant activity of tea infusions. *Applied Sciences, 14*(5), 2014. https://doi.org/10.3390/app14052014

Kleszcz, K., Michoń, K. 2023. The influence of citric acid on the extraction level of manganese in green and black tea infusions. *Science, Technology and Innovation,* 17(1–2), 1–8. https://doi.org/10.55225/sti.504

Pandiangan, F. I., Oslo, E. A., Destine, F., Josephine, J., & Anwar, R. N. 2022. A review on the health benefits of Kalakai (Stenochlaena palustris). *Journal of Functional Food and Nutraceutical, 4*(1), 1–16. https://doi.org/10.33555/jffn.v4i1.98

Peacock, M. 2021. Phosphate metabolism in health and disease. *Calcified tissue international*, *108*(1), 3-15.

Putri, D. A., Oksal, E., Ayuchecaria, N., Agnestisia, R., Ariska, R., Tampubolon, M. J. L., Dewi, S. A., Maulana, I., Aden Dhana Rizkita, A. R. 2023. *Artikel review: Aktivitas antioksidan pada kalakai (Stenochlaena palustris)*. *ALOTROP,* *7*(2). https://doi.org/10.33369/alo.v7i2.29209

Ramadhani, A., Wahyuni, S. D., Agusfiranda, A., Elvania, E., Seftiani, N., & Khairati, S. 2024. Optimization of Nutrition in Supporting Child Growth and Development. *INTERDISIPLIN: Journal of Qualitative and Quantitative Research*, *1*(5), 338-355.

Ruíz, J. S., Montesinos-López, O. A., Crossa, J. 2024. Introduction to experimental designs with PROC GLIMMIX of SAS: Applications in food science and agricultural science. Springer Nature

Stephens, M. P. (2024). *Statistical design and analysis of experiments*. Purdue University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctv2t8h1qk

Sugiyono. 2022. *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Edisi 2). Alfabeta.

Wijinindyah, A., Gaol, S. E. L., & Chotimah, H. 2023 (1). Alternatif Olahan Bubuk Tabur dan Teh dari Kakalai, Kelor dan Cangkang Telur Sebagai Pangan Lokal Sumber Zat Besi dan Kalsium. In *Prosiding Seminar Nasional Unimus* (Vol. 6).

Wijinindyah, A., Gaol, S. L. L., Chotimah, H., Arfiyanti, Z., & Umniyati, S. 2023 (2). Penguatan Olahan Pangan Lokal: Kalakai, Kelor dan Cangkang Telur untuk Mengatasi Stunting. *Yumary: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, *4*(2), 275-284.

Wijinindyah, A., Selvia, J., Chotimah, H., & Gaol, S. E. L. 2022. Potensi Tepung Daun Kelakai (Stenochlaena palutris (Burn. f) Bedd) Pretreatment Asam sebagai Alternatif Pencegah Stunting. *Amerta Nutrition*, *6*.

Wijinindyah, A., Selvia, J., Chotimah, H., & Gaol, S. E. L. 2023 (3). Potensi dan Karakteristik bubuk Cangkang Telur yang Dibuat dengan Perendaman Asam Alami. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, *25*(1), 57-69.