

PENGARUH PENGOLAHAN SAYUR BAYAM BERKUAH TERHADAP KADAR OKSALAT DAN BIOAKSESIBILITAS ZAT BESI

FATMA LATIFAH ISNAWATI



**PROGRAM STUDI SARJANA ILMU GIZI
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN GIZI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pengaruh Pengolahan Sayuran Bayam Berkuah terhadap Kadar Oksalat dan Bioaksesibilitas Zat Besi” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Fatma Latifah Isnawati
I1401221049



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

FATMA LATIFAH ISNAWATI. Pengaruh Pengolahan Sayur Bayam Berkuah terhadap Kadar Oksalat dan Bioaksesibilitas Zat Besi. Dibimbing oleh RIMBAWAN.

Bayam (*Amaranthus* sp.) merupakan salah satu sumber zat besi *non-heme* yang dapat berkontribusi dalam pemenuhan kebutuhan zat besi sebagai upaya pencegahan anemia, tetapi kandungan oksalat dapat menghambat bioaksesibilitas zat besi melalui pembentukan kompleks yang sukar larut. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pengolahan sayur bayam berkuah terhadap kadar oksalat larut air, kadar zat besi, vitamin C, dan bioaksesibilitas zat besi secara *in vitro*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga perlakuan, yaitu bayam rebus tanpa bumbu (P0), sayur bening bayam dengan tomat (P1), dan sayur bobor bayam dengan santan dan bumbu (P2). Sampel berupa sayur bayam beserta kuahnya dihomogenkan sebelum dianalisis. Analisis meliputi kadar oksalat menggunakan spektrofotometer kinetik, kadar zat besi dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), vitamin C, proksimat, serta simulasi pencernaan *in vitro* metode INFOGEST 2.0. Hasil menunjukkan bahwa pengolahan bayam berkuah menurunkan kadar oksalat larut air secara signifikan ($p < 0,05$), dari $1,49 \pm 0,03$ mg/100 g%bk (P0) menjadi $0,58 \pm 0,01$ mg/100 g%bk (P1) dan $0,47 \pm 0,01$ mg/100 g%bk (P2). Perlakuan P1 memiliki kadar zat besi, vitamin C, dan bioaksesibilitas zat besi tertinggi. Dengan demikian, pengolahan bayam menjadi sayur bening dengan penambahan tomat meningkatkan bioaksesibilitas zat besi melalui penurunan kadar oksalat larut air dan peningkatan kandungan vitamin C.

Kata kunci: bayam, bioaksesibilitas zat besi, sayur bayam berkuah, oksalat larut air, vitamin C

ABSTRACT

FATMA LATIFAH ISNAWATI. The Effects of Spinach Soup Processing on Oxalate Content and Iron Bioaccessibility. Supervised by RIMBAWAN.

Spinach (*Amaranthus* sp.) is a source of *non-heme* iron that can contribute to meeting iron requirements as part of anemia prevention. However, its oxalate content may reduce iron bioaccessibility by forming poorly soluble complexes. This study aimed to analyze the effects of processing spinach soup dishes on water-soluble oxalate, iron, vitamin C, and *in vitro* iron bioaccessibility. A Completely Randomized Design with three treatments was employed: boiled spinach without seasonings (P0), clear spinach soup with tomato (P1), and spinach cooked in coconut milk with seasonings (P2). The spinach dishes, including both the leaves and broth, were homogenized before analysis. The analyses included water-soluble oxalate using kinetic spectrophotometry, iron using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), vitamin C, proximate composition, and *in vitro* iron bioaccessibility using the INFOGEST 2.0 digestion model. The results showed that processing spinach into soup dishes significantly reduced water-soluble oxalate content ($p < 0.05$), from 1.49 ± 0.03 mg/100 g dry basis (P0) to 0.58 ± 0.01 mg/100 g

dry basis (P1) and 0.47 ± 0.01 mg/100 g dry basis (P2). Treatment P1 had the highest iron content, vitamin C content, and iron bioaccessibility. Therefore, processing spinach into clear soup with tomato enhanced iron bioaccessibility by reducing water-soluble oxalate content and increasing vitamin C content.

Keywords: iron bioaccessibility, spinach, spinach soup, vitamin C, water soluble oxalate

@*hak cipta milik IPB University*

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PENGARUH PENGOLAHAN SAYUR BAYAM BERKUAH TERHADAP KADAR OKSALAT DAN BIOAKSESIBILITAS ZAT BESI

FATMA LATIFAH ISNAWATI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Ilmu Gizi

**PROGRAM STUDI SARJANA ILMU GIZI
FAKULTAS KEDOKTERAN DAN GIZI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Zuraidah Nasution, S.T.P., M.Sc., Ph.D.



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

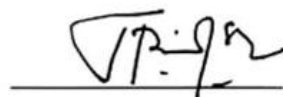
Perpustakaan IPB University

Judul Skripsi : Pengaruh Pengolahan Sayur Bayam Berkuah terhadap Kadar Oksalat dan Bioaksesibilitas Zat Besi

Nama : Fatma Latifah Isnawati
NIM : I1401221049

Disetujui oleh

Pembimbing:
Prof. Dr. Rimbawan



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Sarjana Ilmu Gizi
Fakultas Kedokteran dan Gizi:
Prof. Dr. Katrin Roosita, SP., M.Si.
NIP 197102011999032001



Wakil Dekan Bidang Akademik, Kemahasiswaan, dan Alumni
Fakultas Kedokteran dan Gizi:
Dr. dr. Mira Dewi, M.Si.
NIP 197611162005012001



Tanggal Ujian:
7 Agustus 2026

Tanggal Lulus: 13 Agustus 2026



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Judul dari penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2026 ini ialah “Pengaruh Pengolahan Sayur Bayam Berkuah Terhadap Kadar Oksalat dan Bioaksesibilitas Zat Besi” sebagai salah satu syarat untuk dapat melakukan penelitian dalam penyelesaian tugas akhir di Program Studi Sarjana Ilmu Gizi, Fakultas Kedokteran dan Gizi, Institut Pertanian Bogor. Selama penyusunan skripsi ini, penulis tidak terlepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Rimbawan. selaku pembimbing skripsi sekaligus dosen pendamping akademik yang telah memberikan saran, arahan, dan motivasi selama proses penulisan hingga penyelesaian penelitian.
2. Zuraidah Nasution, S.T.P., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan penulisan skripsi sejak kolokium, serta sebagai dosen pembimbing nonakademik yang telah memberikan arahan, saran, masukan, serta dukungan yang sangat berarti dalam pengembangan kapasitas kepemimpinan penulis.
3. Bapak Arif Fuadhi dan Ibu Sri Utami tercinta beserta kakak tersayang yaitu Muhammad Akhsan Hakiki yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, doa, kepercayaan, dan motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan perkuliahan serta penyusunan skripsi.
4. Untuk sahabat terbaik penulis selama masa perkuliahan, Panen Ijo (Alifia, Atari, Dara, Dhea, Helga, Selly, Safa, dan Shaufy) yang sudah membantu memberikan semangat dan bantuan dalam perkuliahan serta penyusunan skripsi.
5. Rekan-rekan seperjuangan Gantara Mahavira, teman PKU, serta seluruh teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih atas setiap kebersamaan, dukungan, doa, tawa, dan pelajaran berharga yang telah diberikan. Semoga segala kebaikan yang telah dibagikan menjadi amal baik dan membawa kita menuju kesuksesan di jalan masing-masing.
6. Seluruh staf Program Studi Sarjana Ilmu Gizi, termasuk Teh Ine, Mba Aning, Mas Satriyo, Mas Ogi, dan Nadira yang telah memberikan bantuan selama pengambilan data.
7. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang turut memberikan semangat, dukungan, serta mendo'akan dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai perbaikan dari skripsi ini. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Fatma Latifah Isnawati



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Hipotesis	3
1.5 Manfaat	3
II METODE	4
2.1 Desain, Waktu, dan Tempat Penelitian	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.3 Tahapan Penelitian	5
2.4 Rancangan Percobaan	10
2.5 Pengolahan dan Analisis Data	10
III HASIL DAN PEMBAHASAN	11
3.1 Karakteristik Bahan Baku Bayam Hijau (<i>Amaranthus</i> sp.)	11
3.2 Analisis Kandungan Oksalat Larut Air dalam Sayur Bayam Berkuah	11
3.3 Analisis Kandungan Zat Gizi, Kandungan Mineral, dan Vitamin C dalam Sayur Bayam Berkuah	13
3.4 Penentuan Perlakuan Terpilih	19
3.5 Kontribusi terhadap Angka Kecukupan Gizi (AKG)	19
3.6 Bioaksesibilitas Zat Besi <i>In Vitro</i>	20
IV SIMPULAN DAN SARAN	23
4.1 Simpulan	23
4.2 Saran	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	32
RIWAYAT HIDUP	52



DAFTAR TABEL

1	Resep bahan pengolahan masakan bayam berkuah	7
2	Kandungan oksalat larut air dalam masakan bayam berkuah	12
3	Kandungan gizi dan kandungan mineral dalam masakan bayam berkuah	13
4	Kontribusi terhadap Angka Kecukupan Gizi (AKG)	19
5	Hasil bioaksesibilitas zat besi dalam masakan sayur bayam berkuah	20

DAFTAR LAMPIRAN

Pembuatan Sayur Bayam Berkuah	33
Prosedur Penentuan Kadar Oksalat Larut Air	36
Prosedur analisis kandungan gizi, bioaksesibilitas mineral, dan daya cerna zat besi	39

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Anemia adalah suatu keadaan ketika menurunnya jumlah komponen sel darah merah yang ditandai dengan kadar hemoglobin, hematokrit, serta jumlah sel darah merah di bawah batas normal (Kulsum 2020). Anemia merupakan salah satu permasalahan gizi yang masih banyak dijumpai di Indonesia, yang umumnya disebabkan oleh rendahnya konsumsi serta bioaksesibilitas zat besi. Berdasarkan Riset Kesehatan Dasar 2018, sebanyak 32% penduduk Indonesia berusia 13–18 tahun tercatat mengalami anemia. Selain itu, prevalensi anemia pada perempuan (27,2%) lebih tinggi dibandingkan laki-laki (20,3%) (Balitbangkes RI 2019). Anemia tidak hanya menurunkan imunitas dan kapasitas fisik, tetapi berpotensi menghambat perkembangan serta meningkatkan risiko kesehatan jangka panjang bagi wanita usia subur (Pamela *et al.* 2022).

Salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap tingginya kejadian anemia adalah defisiensi zat besi. Defisiensi zat besi merupakan penyebab utama anemia yang masih banyak ditemukan pada wanita usia subur dan remaja putri. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh rendahnya jumlah serta mutu zat besi dalam asupan makanan, meningkatnya kebutuhan tubuh terhadap zat besi seperti saat masa pertumbuhan, menstruasi, kehamilan, gangguan penyerapan zat besi di saluran pencernaan (malabsorpsi), adanya konsumsi senyawa penghambat penyerapan seperti tanin yang terdapat dalam teh, serta kehilangan darah secara terus-menerus akibat infeksi (Simanjuntak 2025).

Sebagai salah satu upaya memenuhi kebutuhan zat besi, diperlukan pemanfaatan bahan pangan yang merupakan sumber zat besi dengan ketersediaan yang baik. Selain pangan hewani, beberapa bahan pangan nabati juga mengandung zat besi jenis *non-heme*. Salah satu sumber zat besi nabati yang banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia adalah bayam. Bayam merupakan salah satu sayuran yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), konsumsi bayam masyarakat Indonesia pada tahun 2025 tercatat sebesar 0,057 kg/kapita/minggu atau 2,973 kg/kapita/tahun (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian 2025). Sayuran ini menjadi pilihan karena harganya terjangkau serta mudah diolah menjadi berbagai hidangan. Bayam dapat diolah menjadi berbagai hidangan, seperti sayur bening, sayur bobor, maupun sebagai pelengkap pecel dan gado-gado. Berbagai jenis olahan bayam menunjukkan bahwa bayam dapat diolah dalam beragam masakan sesuai dengan kebutuhan dan selera (Muzdalifah dan Khairiah 2023). Jenis bayam yang umum dikonsumsi oleh masyarakat adalah bayam hijau (*Amaranthus* sp.).

Meskipun kaya akan zat besi, pemanfaatan zat besi pada bayam masih dipengaruhi oleh keberadaan senyawa antinutrisi. Salah satu senyawa antinutrisi utama pada bayam adalah oksalat, terutama dalam bentuk oksalat larut air. Oksalat larut air merupakan senyawa antinutrisi yang mampu berikatan dengan mineral seperti kalsium, magnesium, dan zat besi sehingga membentuk senyawa yang sulit larut dan sulit diserap tubuh. Keberadaan oksalat dalam bayam tidak hanya berpotensi menurunkan kualitas gizi, tetapi juga dapat menghambat bioaksesibilitas zat besi yang terkandung di dalamnya (Hasin dan Zain 2019). Selain itu, konsumsi pangan dengan kadar oksalat yang tinggi juga dikaitkan dengan peningkatan risiko

pembentukan batu ginjal akibat terbentuknya kristal kalsium oksalat (Crivelli *et al.* 2020; Muammar *et al.* 2020).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh oksalat adalah melalui proses pengolahan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa proses pengolahan menggunakan media air dapat menurunkan kadar oksalat larut air melalui proses pelindian (*leaching*) ke dalam air pemasakan akibat kerusakan dinding sel dan pelunakan jaringan tanaman selama pemanasan (Arias-Rico *et al.* 2020). Penurunan kadar oksalat tersebut berpotensi meningkatkan bioaksesibilitas zat besi karena berkurangnya pembentukan kompleks tidak larut antara oksalat dan zat besi (Fratianni *et al.* 2021). Selain itu, Fitriani (2016) menunjukkan bahwa proses pemanasan mampu menurunkan kandungan oksalat pada bayam.

Bayam umumnya dikonsumsi dalam bentuk masakan berkuah, seperti sayur bening dan sayur bobor. Oleh karena itu, perlu dikaji pengaruh jenis pengolahannya terhadap kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi. Perbedaan komposisi bahan dan proses pengolahan pada kedua jenis masakan tersebut diduga dapat menghasilkan karakteristik kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi yang berbeda. Penggunaan media air selama proses pemasakan memungkinkan terjadinya perpindahan oksalat larut air dari jaringan bayam ke dalam kuah sehingga dapat memengaruhi bioaksesibilitas zat besi. Namun, informasi mengenai pengaruh berbagai jenis masakan bayam berkuah terhadap kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh pengolahan masakan bayam berkuah terhadap kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi pada bayam hijau (*Amaranthus* sp.) perlu dilakukan guna memperoleh informasi mengenai jenis pengolahan bayam berkuah yang mampu mengoptimalkan nilai gizi dan bioaksesibilitas zat besi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diidentifikasi, maka muncul beberapa pertanyaan penelitian yang perlu dijawab guna memperoleh pemahaman yang lebih mendalam serta solusi yang tepat terhadap permasalahan yang ada, yaitu:

- Bagaimana perbedaan kadar oksalat larut air dan kadar zat besi pada bayam setelah diolah menjadi berbagai jenis masakan sayur berkuah
- Bagaimana pengaruh jenis pengolahan sayur berkuah terhadap bioaksesibilitas zat besi dari bayam

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pengolahan sayur bayam menjadi berbagai jenis masakan berkuah terhadap kadar oksalat larut air, kadar zat besi, dan bioaksesibilitas zat besi.

1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini antara lain:

- Menganalisis pengaruh jenis pengolahan sayur bayam berkuah terhadap kadar oksalat larut air dan kadar zat besi pada masakan sayur bayam berkuah.

- b) Menentukan pengaruh jenis pengolahan sayur bayam berkuah terhadap bioaksesibilitas zat besi pada bayam.

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini antara lain:

- Pengolahan bayam menjadi berbagai jenis masakan sayur berkuah berpengaruh terhadap kadar oksalat larut air dan kadar zat besi.
- Pengolahan bayam menjadi berbagai jenis masakan sayur berkuah berpengaruh terhadap bioaksesibilitas zat besi

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat antara lain:

- Manfaat untuk masyarakat. Hasil penelitian ini diharapkan meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya memahami pengaruh cara pengolahan terhadap kadar oksalat larut air dan ketersediaan zat besi dalam bayam. Dengan demikian, masyarakat dapat memilih metode memasak yang tepat agar zat besi dari bayam lebih mudah diserap tubuh serta meminimalkan risiko kesehatan yang berkaitan dengan konsumsi oksalat dalam jumlah tinggi.
- Manfaat untuk perguruan tinggi. Penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam menyediakan data ilmiah mengenai pengaruh berbagai jenis pengolahan masakan berkuah terhadap kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi pada bayam. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam kegiatan edukasi gizi, pengembangan teknologi pengolahan pangan, serta penelitian lanjutan di bidang bioaksesibilitas zat gizi dan senyawa antigizi.
- Manfaat untuk peneliti. Peneliti memperoleh pengalaman langsung dalam merancang, melaksanakan, dan menganalisis penelitian terkait pengaruh pengolahan terhadap bioaksesibilitas zat gizi. Proses ini memperkuat kemampuan peneliti di bidang riset eksperimental dan analisis gizi pangan, sekaligus memperluas wawasan tentang interaksi antara oksalat larut air dan zat besi dalam bahan pangan nabati seperti bayam.

II METODE

2.1 Desain, Waktu, dan Tempat Penelitian

Desain penelitian ini menggunakan desain *experimental study* dengan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Pengolahan Pangan dan Laboratorium Biokimia Program Studi Sarjana Ilmu Gizi IPB University. Kampus Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat pada bulan April 2026 sampai dengan bulan Juni 2026.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pembuatan olahan sayur bayam, preparasi sampel, dan analisis laboratorium. Alat yang digunakan untuk pembuatan olahan sayur bayam yaitu pisau, panci, kompor, sendok, gelas, talenan, saringan, baskom, timbangan, dan termometer. Alat untuk preparasi sampel meliputi blender, saringan, botol plastik, dan aluminium foil.

Alat yang digunakan untuk analisis laboratorium meliputi timbangan analitik, oven (Daihan, Jepang), tanur (Nabertherm L40, Jerman), desikator, penangas, kompor listrik, digestor, Kjeltex (KT 200 Kjeltex™, Denmark), Soxtec (FOSS ST 243 Soxtec, Prancis), centrifugator (FC5816 Frontier 5000 Multi-Pro Centrifuge, Jerman), *multimode microplate reader* (BioTek Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader, Denmark), *Atomic Absorption Spectrophotometer* (Shimadzu AA-6300, Jepang), pH meter (Ohaus Starter 3100, USA), *water bath*, serta berbagai peralatan gelas laboratorium, seperti gelas piala, gelas ukur, labu ukur, Erlenmeyer, buret, pipet mikro, pipet tetes, *centrifuge tube*, cawan porselen, cawan kaca, cawan lemak, tabung Kjeldahl, timble, corong kaca, kertas saring, statif dan klem, perahu timbang, kaca arloji, sudip, botol Duran, dan *stopwatch*.

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas bahan utama pembuatan sayur bayam dan bahan untuk analisis zat gizi. Bahan yang digunakan untuk membuat olahan sayur bening bayam adalah bayam hijau (*Amaranthus* sp.), tomat, bawang putih, bawang merah, garam, dan rimpang kunci. Bahan yang digunakan untuk membuat olahan sayur bobor bayam meliputi bayam hijau (*Amaranthus* sp.), bawang putih, bawang merah, santan, kencur, ketumbar, daun salam dan garam. Bayam yang digunakan dalam pengolahan sayur didapatkan melalui pembelian *offline* dari petani setempat yang dijual di pasar tradisional terdekat.

Bahan kimia untuk analisis oksalat meliputi akuades, *buffer* asetat pH 5, besi(II) sulfate heptahydrate 7 µg/mL, asam sulfat, kalium iodida 0,12 mol/L, kalium bromat 0,1 mol/L, serta asam oksalat sebagai larutan standar. Bahan kimia yang digunakan untuk analisis proksimat meliputi akuades, selenium mix, asam sulfat pekat 98%, asam borat 4%, natrium hidroksida 40%, asam klorida

0,1 M, natrium karbonat, amonium sulfat, indikator metil merah, dan heksana. Bahan untuk analisis vitamin C meliputi akuades, ammonium molibdat 5%, Asam sulfat 5%, asam oksalat 0,4%, dan asam askorbat 1000 ppm sebagai larutan standar. Bahan yang digunakan untuk analisis kadar zat besi yakni asam nitrat pekat 50 dan 65%, hidrogen peroksida 30%, dan air bebas ion.

Bahan untuk analisis bioaksesibilitas mineral zat besi menggunakan enzim *salivary α-amilase*, enzim pepsin (P7125), enzim pankreatin (P7545), dan *bile* (B8631), larutan elektrolit fase oral *Simulated Saliva Fluid* (SSF) yang dibuat dari campuran kalium klorida, kalium dihidrogen fosfat, natrium hidrogen karbonat, magnesium klorida heksahidrat, amonium karbonat, asam klorida 6 M dan kalsium klorida dihidrat 0,3 M. Larutan elektrolit fase lambung *Simulated Gastric Fluid* (SGF) yang dibuat dengan campuran kalium klorida, kalium dihidrogen fosfat, natrium hidrogen karbonat, natrium klorida, magnesium klorida heksahidrat, amonium karbonat, asam klorida 6 M dan kalsium klorida dihidrat 0,3 M. Larutan elektrolit fase usus halus *Simulated Intestinal Fluid* (SIF) yang dibuat dengan campuran kalium klorida, kalium dihidrogen fosfat, natrium hidrogen karbonat, natrium klorida, magnesium klorida heksahidrat, amonium karbonat, asam klorida 6 M dan kalsium klorida dihidrat 0,3 M.

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pemilihan sampel bayam hijau (*Amarathus* sp.) yang memiliki warna daun hijau merata, tidak layu, tidak rusak, serta berukuran relatif seragam. Setelah proses pengambilan sampel, sampel ditempatkan dalam wadah plastik tertutup dan segera dibawa ke Laboratorium Percobaan Makanan Program Studi Sarjana Ilmu Gizi IPB University. Penggunaan wadah plastik tertutup bertujuan untuk melindungi sampel dari kontaminasi selama proses transportasi, mengurangi kehilangan kadar air akibat penguapan, serta mempertahankan kesegaran bahan sebelum dilakukan preparasi dan pengolahan.

Bagian tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun bayam. Pemilihan bagian daun didasarkan pada penelitian Hasin dan Zain (2019) yang menunjukkan bahwa kandungan oksalat pada daun bayam lebih tinggi dibandingkan pada batang, sehingga daun dianggap lebih representatif untuk analisis kadar oksalat. Selanjutnya, daun bayam disortasi, dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran yang menempel, kemudian ditiriskan sebelum diolah sesuai dengan perlakuan yang telah ditetapkan.

Sampel yang telah diolah kemudian dipreparasi untuk analisis proksimat, kadar vitamin C, kadar oksalat larut air, dan kadar zat besi. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dipilih perlakuan terbaik yang selanjutnya dianalisis bioaksesibilitas zat besi secara *in vitro* menggunakan metode INFOGEST 2.0. Tahapan penelitian disajikan pada diagram alir berikut.

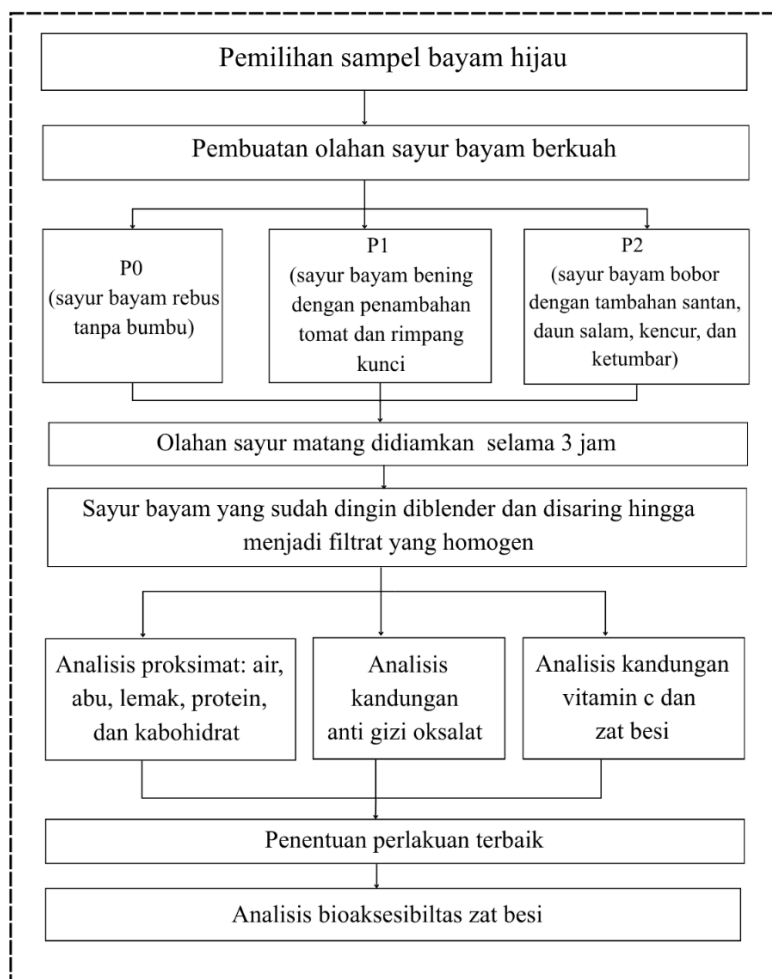


Diagram alir tahap penelitian

Diagram alir tahapan penelitian disajikan untuk memberikan gambaran umum mengenai alur pelaksanaan penelitian, mulai dari pemilihan sampel, analisis laboratorium, hingga penentuan perlakuan terbaik dan pengujian bioaksesibilitas zat besi. Pada penelitian ini, analisis dilakukan terhadap sampel sayur bayam berkuah secara utuh, yaitu meliputi daun bayam beserta kuahnya. Pendekatan ini dipilih untuk merepresentasikan kondisi konsumsi yang sebenarnya, karena sayur bayam umumnya dikonsumsi bersama kuahnya.

Setelah proses pemasakan selesai, sampel didinginkan hingga suhu ruang, kemudian dihomogenkan menggunakan *blender* hingga membentuk jus yang homogen. Homogenisasi dilakukan untuk memperoleh distribusi komponen sampel yang seragam sehingga hasil analisis lebih representatif. Sampel homogen selanjutnya didiamkan selama 3 jam pada suhu ruang sebagai simulasi waktu tunggu sebelum dikonsumsi. Setelah masa pendinginan tersebut, sebagian sampel segera digunakan untuk analisis kadar oksalat larut air, kadar zat besi, vitamin C, dan bioaksesibilitas zat besi. Sampel yang belum dianalisis disimpan dalam wadah tertutup pada *freezer* ($\pm -20^{\circ}\text{C}$) hingga dilakukan analisis berikutnya guna mempertahankan stabilitas komponen kimia sampel dan mengurangi terjadinya perubahan akibat aktivitas enzimatis maupun mikrobiologis.

Selain itu, selama proses perebusan sebagian komponen yang larut air, seperti vitamin C, mineral zat besi, dan oksalat larut air, dapat berdifusi ke dalam media pemasakan sehingga keberadaannya tidak hanya terdapat pada daun bayam, tetapi juga pada kuah. Oleh karena itu, seluruh sampel dihomogenkan sebelum analisis agar komponen daun dan kuah tercampur secara merata, sehingga hasil analisis lebih mencerminkan kandungan zat gizi dan komponen pangan yang dikonsumsi. Sampel homogen selanjutnya digunakan sebagai bahan uji untuk analisis proksimat, kadar vitamin C, kadar oksalat larut air, kadar zat besi, serta bioaksesibilitas zat besi sesuai dengan parameter yang dianalisis. Seluruh analisis laboratorium dilakukan secara *duplo* pada setiap sampel dari masing-masing perlakuan untuk meningkatkan ketelitian dan keandalan hasil pengukuran. Prosedur rinci setiap tahapan pembuatan olahan sayur bayam berkuah disajikan pada Lampiran 1.

2.3.1 Pembuatan Sayur Bayam Berkuah

Pembuatan sayur bayam berkuah dilakukan berdasarkan modifikasi resep Agustina (2022) yang disesuaikan dengan jenis olahan bayam berkuah yang umum dikonsumsi masyarakat Indonesia. Penelitian terdiri atas tiga perlakuan, yaitu bayam rebus tanpa bumbu (P0), sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci (P1), serta sayur bobor bayam dengan penambahan santan, kencur, ketumbar, dan daun salam (P2). Seluruh perlakuan menggunakan prosedur pemasakan yang sama, sedangkan perbedaan perlakuan terletak pada komposisi bahan yang digunakan. Formulasi bahan pada masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Resep bahan pengolahan masakan bayam berkuah

Bahan Makanan	Berat bahan makanan		
	P0	P1	P2
Bayam hijau (g)	50	50	50
Air (ml)	600	600	535
Bawang putih (g)	-	3	3
Bawang merah (g)	-	5	5
Garam (g)	-	5	5
Tomat (g)	-	25	-
Rimpang kunci (g)	-	5	-
Santan (ml)	-	-	65
Kencur (g)	-	-	3
Ketumbar (g)	-	-	2
Daun salam (g)	-	-	1

Sumber : Modifikasi resep dari Agustina (2022)

Keterangan:

P0 : Sayur bayam hijau rebus tanpa tambahan bumbu

P1 : Sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci

P2 : Sayur bobor bayam dengan tambahan santan, kencur, ketumbar, daun salam

Berdasarkan diagram alir, seluruh perlakuan dibuat menggunakan prosedur pemasakan yang sama dengan perbedaan pada komposisi bahan sesuai perlakuan. Setelah proses pengolahan selesai, sampel dipreparasi hingga homogen sebelum digunakan untuk analisis laboratorium (kadar oksalat larut air,

proksimat, mineral, vitamin C, zat besi, serta bioaksesibilitas zat besi). Adapun proses detail pembuatan sayur bayam berkuah terdapat dalam Lampiran 1.

2.3.2 Analisis Kandungan Oksalat Larut Air dalam Masakan

Analisis kadar oksalat larut air dilakukan menggunakan metode spektrofotometri kinetik mengacu pada Savage *et al.* (2000). Metode ini didasarkan pada prinsip pengukuran laju pembentukan senyawa triiodida (I_3^-) yang dihasilkan melalui reaksi oksidasi katalitik antara iodida dan bromat dengan bantuan ion Fe^{2+} sebagai katalis, di mana keberadaan oksalat mempercepat laju reaksi. Intensitas absorbansi senyawa triiodida diukur pada panjang gelombang 352 nm menggunakan BioTek Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader (BioTek Instruments, Denmark) dan berbanding lurus dengan konsentrasi oksalat larut air dalam sampel. Konsentrasi oksalat ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi larutan standar oksalat. Prosedur detail analisis kandungan oksalat larut air yang dilakukan tertera pada Lampiran 2.

2.3.3 Analisis Kandungan Gizi dan Kandungan Mineral Sayur Bayam Berkuah

Sebelum dilakukan analisis, sampel sayur bayam berkuah dihomogenkan menggunakan blender, kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan masing-masing parameter pengujian. Analisis kadar air dilakukan menggunakan metode gravimetri (SNI 01-2891-1992). Sampel ditimbang ke dalam cawan yang telah diketahui bobotnya, kemudian dikeringkan menggunakan oven (Daihan, Jepang) pada suhu $105^\circ C$ hingga diperoleh bobot konstan. Selisih bobot sebelum dan sesudah pengeringan digunakan untuk menghitung kadar air sampel. Analisis kadar abu dilakukan dengan metode gravimetri (SNI 01-2891-1992). Sampel dipanaskan terlebih dahulu hingga terkarbonisasi, kemudian diabukan menggunakan tanur (Nabertherm L40, Jerman) pada suhu $550^\circ C$ sampai diperoleh abu berwarna putih keabu-abuan. Kadar abu dihitung berdasarkan bobot residu mineral yang tertinggal setelah proses pengabuan. Analisis kadar protein dilakukan menggunakan metode Micro Kjeldahl (AOAC 955.04). Sampel didestruksi menggunakan asam sulfat pekat dan katalis selenium, kemudian hasil destruksi didestilasi menggunakan Kjeltex (KT 200 KjeltexTM, Denmark). Destilat selanjutnya dititrasi menggunakan larutan HCl standar untuk menentukan kadar nitrogen total, kemudian dikonversi menjadi kadar protein menggunakan faktor konversi 6,25. Untuk menjamin keakuratan metode analisis, dilakukan uji *recovery* yang menghasilkan nilai *recovery* sebesar 109%, nilai *recovery* sebesar 109% menunjukkan akurasi metode yang sedikit lebih tinggi diluar kisaran keberterimaan validasi metode menurut AOAC International (2012) yakni sejumlah 90-107%. Analisis kadar lemak dilakukan menggunakan metode Soxhlet (AOAC 920.85). Sampel diekstraksi secara kontinu menggunakan pelarut heksana dengan bantuan Soxtec (FOSS ST 243 Soxtec, Prancis). Setelah proses ekstraksi selesai, pelarut diuapkan dan residu lemak yang diperoleh ditimbang untuk menentukan kadar lemak secara gravimetri. Kadar karbohidrat tersedia dihitung menggunakan metode *available by difference*, yaitu dengan mengurangi jumlah kadar air, kadar abu, kadar protein, dan kadar lemak dari 100%.

Analisis vitamin C dilakukan berdasarkan metode Sudjarwo (2017). Sampel direaksikan dengan pereaksi ammonium molibdat sehingga terbentuk

kompleks berwarna, kemudian absorbansi diukur menggunakan BioTek Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader (Denmark) pada panjang gelombang yang sesuai. Konsentrasi vitamin C ditentukan berdasarkan kurva standar asam askorbat. Analisis kadar zat besi (Fe) dilakukan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) mengacu pada ASEANFOODS (2011). Sampel terlebih dahulu didestruksi secara basah menggunakan campuran asam, kemudian larutan hasil destruksi dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (Shimadzu AA-6300, Jepang). Konsentrasi Fe ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi larutan standar dan dinyatakan dalam satuan mg/100 g. Prosedur detail analisis kandungan gizi dan kandungan mineral sayur bayam berkuah yang dilakukan tertera pada Lampiran 3.

2.3.4 Penentuan Perlakuan Terpilih

Perlakuan terpilih dipilih melalui hasil rata-rata skor kandungan gizi terbaik dari hasil analisis proksimat (air, abu, lemak, protein, dan karbohidrat) serta kriteria kadar oksalat larut air yang rendah, vitamin C yang tinggi, dan zat besi yang tinggi. Aspek tersebut dijadikan indikator untuk menentukan perlakuan terbaik yang dilakukan analisis bioaksesibilitas zat besi.

2.3.5 Perhitungan Kontribusi Zat Gizi terhadap AKG

Perhitungan kontribusi zat gizi pada sayur bayam berkuah mengacu pada Angka Kecukupan Gizi (AKG) tahun 2019 untuk kelompok umur remaja. Komponen zat gizi yang dianalisis meliputi kandungan energi, protein, lemak, karbohidrat dan mineral (zat besi). Persentase kontribusi suatu zat gizi diperoleh dengan membandingkan jumlah kandungan zat gizi dalam setiap porsi saji terhadap angka kecukupan gizi untuk zat tersebut, kemudian hasilnya dikalikan dengan 100%.

2.3.6 Analisis Bioaksesibilitas Zat Besi *In Vitro*

Analisis lanjutan pada olahan sayur bayam berkuah terpilih melalui hasil rata-rata skor terbesar dari hasil kandungan gizi paling tinggi. Aspek tersebut dijadikan indikator untuk menentukan olahan sayur bayam berkuah terpilih yang dilakukan analisis bioaksesibilitas. Bioaksesibilitas zat besi dilakukan secara *in vitro* dengan metode Harmonisasi INFOGEST 2.0 (Minekus *et al.* 2014; Brodkorb *et al.* 2019). Metode ini mensimulasikan pencernaan dalam tubuh menggunakan tahapan pencernaan yang dibagi menjadi fase oral, fase lambung, dan fase usus halus. Proses pencernaan *in vitro* diawali dengan fase oral, yaitu sampel dicampurkan dengan *simulated salivary fluid* (SSF) dan enzim α -amilase saliva, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C untuk mensimulasikan kondisi rongga mulut manusia. Selanjutnya, fase lambung dilakukan dengan menambahkan *simulated gastric fluid* (SGF) dan enzim pepsin ke dalam campuran, kemudian diinkubasi selama 2 jam untuk meniru proses pencernaan di lambung. Setelah itu, kimus hasil fase lambung memasuki fase usus halus dengan penambahan *simulated intestinal fluid* (SIF), enzim pankreatin, dan empedu (*bile*), kemudian diinkubasi kembali selama 2 jam. Pada akhir fase intestinal, hasil pencernaan disentrifugasi untuk memisahkan supernatan dan

residu. Supernatan yang diperoleh selanjutnya dianalisis kandungan mineralnya sebagai dasar penentuan bioaksesibilitas mineral. Prosedur detail analisis bioaksesibilitas zat besi yang dilakukan tertera pada Lampiran 3.

2.4 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor tunggal yang berupa jenis pengolahan bayam berkuah. Percobaan ini dilakukan dalam dua ulangan pada setiap kontrol dan jenis pengolahan bayam berkuah. Analisis data menggunakan analisis data menggunakan analisis ragam *One-way-Annova*. Uji lanjut yang digunakan adalah *Duncan's Multi Range Test* (DMRT). Persamaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) antara lain:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan:

Y_{ij} = Hasil pengamatan sampel sayur bayam berkuah perlakuan ke-i pada ulangan ke-j.

μ = Nilai rata-rata pengamatan.

τ_i = Pengaruh pengolahan bayam berkuah (sayur bening dan sayur bobor)

ε_{ij} = Galat akibat perlakuan ke-j dan perlakuan ke-k pada ulangan ke-i

i = Perlakuan ($i = 1,2,3$).

j = Pengulangan ($j = 1,2$).

2.5 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* 2019 dan SPSS versi 25.0 *for Windows*. Data yang dianalisis meliputi hasil pengukuran kadar proksimat, kadar oksalat larut air, kadar vitamin C, kadar zat besi, serta bioaksesibilitas zat besi pada berbagai perlakuan olahan bayam berkuah, yaitu bayam yang direbus tanpa diberikan bumbu (P0) sebagai kontrol, sayur bening bayam dengan tomat dan rimpang kunci (P1), dan bobor bayam dengan santan, kencur, ketumbar, daun salam (P2). Sampel sayur dan kuah pada masing-masing perlakuan dihomogenkan sebelum dianalisis, sehingga menghasilkan satu kesatuan sampel untuk setiap jenis olahan. Data hasil analisis laboratorium terlebih dahulu ditabulasi menggunakan *Microsoft Excel*, kemudian dilakukan uji statistik deskriptif untuk mendapatkan nilai rata-rata dan standar deviasi dari masing-masing parameter. Selanjutnya, data kadar oksalat larut air, proksimat, vitamin C, dan zat besi dianalisis menggunakan uji *One-Way Analysis of Variance* (ANOVA) karena melibatkan lebih dari dua perlakuan.

Apabila hasil uji menunjukkan nilai $p < 0,05$, analisis dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk mengetahui perbedaan nyata antar perlakuan. Selain itu, uji *independent samples t-test* digunakan untuk membandingkan kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi pada dua kelompok perlakuan yang dipilih. Hasil uji ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua perlakuan, dengan taraf signifikansi $p < 0,05$. Seluruh analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh metode pengolahan masakan bayam berkuah terhadap kadar oksalat larut air, kadar vitamin C, kadar zat besi, dan bioaksesibilitas zat besi.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Bahan Baku Bayam Hijau (*Amaranthus* sp.)

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bayam hijau (*Amaranthus* sp.) yang diperoleh dari lahan pertanian di Desa Ciaruteun Ilir, Kecamatan Cibungbulang, Kabupaten Bogor. Pemilihan lokasi ini bertujuan untuk mendapatkan sampel segar langsung dari petani guna menjamin riwayat penanaman yang seragam. Berdasarkan hasil wawancara dengan petani lokal di Desa Ciaruteun Ilir, bayam hijau yang digunakan dalam penelitian ini dipanen pada rentang usia 25 hingga 30 hari. Usia panen ini merupakan standar teknis petani setempat untuk menghasilkan bayam yang layak konsumsi. Penentuan usia panen ini penting karena memengaruhi kandungan senyawa bioaktif dan zat antigizi pada bayam. Menurut Ismail *et al.* (2024), kadar oksalat cenderung meningkat seiring bertambahnya umur panen. Bayam yang dipanen pada usia 4 minggu (25–28 hari) memiliki kadar oksalat lebih rendah dibandingkan bayam yang dipanen pada usia 5 hingga 6 minggu. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan bayam dengan usia panen sekitar 25 hari agar karakteristik bahan baku lebih seragam, memiliki kadar oksalat yang relatif lebih rendah, serta memungkinkan pengamatan yang lebih terfokus terhadap pengaruh proses pengolahan terhadap kadar oksalat dan bioaksesibilitas zat besi. Hal ini sejalan dengan pendapat Sarma dan Bhavya (2024) yang menyatakan bahwa ketersediaan hayati senyawa aktif pada sayuran berdaun hijau dipengaruhi oleh tingkat kematangan fisiologis tanaman dan teknik pemanenan yang diterapkan.

Selain menyeragamkan usia panen, penelitian ini juga hanya menggunakan bagian daun bayam tanpa batang. Pemilihan bagian daun didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Hasin dan Zain (2019) yang menunjukkan bahwa kadar oksalat pada daun bayam lebih tinggi dibandingkan pada bagian batang, sehingga daun bayam dianggap lebih representatif untuk digunakan dalam analisis oksalat pada penelitian ini. Untuk menjaga konsistensi data selama penelitian, seluruh bayam yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dalam satu kali masa panen. Mengingat proses pemasakan untuk setiap ulangan dilakukan selama dua hari berturut-turut, dilakukan upaya preservasi untuk mempertahankan mutu bahan baku. Bayam segera dikemas menggunakan plastik vakum dan disimpan dalam kondisi terkontrol selama maksimal tiga hari. Pengemasan vakum bertujuan mengurangi kontak dengan oksigen sehingga dapat menekan laju respirasi, aktivitas enzimatis, dan proses oksidasi yang berpotensi menyebabkan degradasi zat gizi, terutama vitamin C dan zat besi, selama penyimpanan. Dengan demikian, variasi kandungan gizi akibat penyimpanan dapat diminimalkan sehingga perbedaan hasil analisis lebih mencerminkan pengaruh perlakuan pengolahan daripada perubahan kualitas bahan baku.

3.2 Analisis Kandungan Oksalat Larut Air dalam Sayur Bayam Berkuah

Hasil analisis kandungan senyawa *antinutrient* pada berbagai jenis masakan sayur bayam hijau berkuah berfokus pada analisis kadar oksalat larut air. Sampel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi tiga jenis perlakuan hidangan tradisional berkuah dari sayur bayam, yaitu sayur bayam rebus tanpa bumbu sebagai kontrol (P0), sayur bening bayam dengan penambahan air dan bumbu

nabati berupa tomat dan rimpang kunci (P1), serta sayur bobor bayam dengan substitusi media cairan berupa santan kental, dan bumbu tambahan berupa kencur, ketumbar, dan daun salam (P2). Data hasil pengujian kadar oksalat larut air dari ketiga perlakuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kandungan oksalat larut air dalam masakan bayam berkuah

Jenis Zat Gizi	Jenis Sayur Bayam Berkuah		
	P0	P1	P2
	%bk	%bk	%bk
Oksalat larut air (mg/100 g %bk)*	1,49 ^c ± 0,03	0,58 ^b ± 0,01	0,47 ^a ± 0,01

Keterangan:

N = 2

P0 : Sayur bayam hijau rebus tanpa tambahan bumbu;

P1 : Sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci

P2 : Sayur bobor bayam dengan tambahan santan, kencur, ketumbar dan daun salam

*) Signifikan berdasarkan uji statistik

a,b,c) Hasil uji ANOVA dan uji lanjut Duncan, huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan hasil yang berbeda nyata (p < 0,05)

%x: Rata-rata ± SD

3.2.1 Oksalat Larut Air

Oksalat larut air merupakan bagian dari dalam jaringan tanaman yang paling diwaspadai dari aspek gizi dan keamanan pangan karena mudah diserap tubuh serta berpotensi membentuk batu ginjal apabila dikonsumsi dalam jumlah tinggi (Muammar *et al.* 2020). Salah satu metode pengolahan yang efektif untuk menurunkan kadar oksalat larut air adalah perebusan, karena oksalat dapat berdifusi dari jaringan tanaman ke dalam media perebusan (Huynh *et al.* 2022). Pada penelitian ini, kadar oksalat larut air ditentukan menggunakan metode spektrofotometri kinetik menurut Savage *et al.* (2000). Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar oksalat larut air pada masakan bayam berkisar antara 0,47–1,49%bk, dengan nilai tertinggi pada P0 (1,49±0,03%bk), diikuti P1 (0,58±0,01%bk), dan terendah pada P2 (0,47±0,01%bk). Hasil uji *One-Way ANOVA* menunjukkan bahwa perbedaan metode pengolahan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar oksalat larut air (p<0,05). Oleh karena itu, analisis dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) yang menunjukkan bahwa setiap perlakuan berbeda nyata.

Tingginya kadar oksalat larut air pada sampel kontrol P0 (1,49%) disebabkan karena proses perebusan hanya menggunakan 600 mL air murni tanpa adanya penambahan bumbu, sehingga dapat menyebabkan kerusakan dinding sel tanaman, dan oksalat larut air dengan mudah berdifusi keluar dari jaringan bayam menuju air rebusan selama pemanasan (Fitriani 2016). Hal ini sejalan dengan penelitian Ismail *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa proses (*blanching*) mampu mereduksi kadar oksalat bayam mentah dari 1,46–2,35%bk menjadi 1,07–1,54%bk setelah dipanaskan. Sebaliknya, penurunan kadar oksalat larut air pada P1 (0,58%) dipengaruhi oleh kombinasi proses pelindian selama perebusan dan keberadaan asam sitrat tomat. Asam sitrat berkompetisi mengikat

ion kalsium sehingga mengurangi pembentukan kompleks kalsium oksalat, sedangkan volume media cair menyebabkan konsentrasi oksalat larut air yang terukur menjadi lebih rendah (Barghouthy dan Somani 2021). Sementara itu, penurunan kadar oksalat larut air paling besar pada P2 (0,47%) menunjukkan bahwa penambahan bumbu dan santan efektif menekan kadar oksalat larut air. Hal ini dipengaruhi secara nyata oleh intervensi bumbu serta penambahan 65 g santan kental ke dalam media perebusan. Kandungan mineral kalsium dan magnesium santan mampu mengikat oksalat larut air (*soluble*) menjadi bentuk tidak larut (*insoluble*), yang menurut Liebman dan Costa (2000) efektif menurunkan penyerapan oksalat di dalam tubuh hingga hampir setengahnya, karena terbentuknya garam tidak larut. Dengan demikian, penurunan kadar oksalat larut air pada berbagai perlakuan diduga tidak hanya mengurangi potensi risiko pembentukan batu ginjal, tetapi juga berpotensi meningkatkan ketersediaan zat besi *non-heme* selama proses pencernaan.

3.3 Analisis Kandungan Zat Gizi, Kandungan Mineral, dan Vitamin C dalam Sayur Bayam Berkuah

Hasil analisis kandungan zat gizi pada berbagai jenis masakan sayur bayam hijau berkuah meliputi analisis kandungan air, abu, lemak, protein, karbohidrat, oksalat, serta kandungan mineral vitamin C, dan zat besi. Sampel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi tiga jenis perlakuan hidangan tradisional berkuah dari sayur bayam, yaitu sayur bayam rebus tanpa bumbu sebagai kontrol (P0), sayur bening bayam dengan penambahan air dan bumbu nabati berupa tomat dan rimpang kunci (P1), serta sayur bobor bayam dengan substitusi media cairan berupa santan kental, dan bumbu tambahan berupa kencur, ketumbar, dan daun salam (P2). Data hasil pengujian kadar vitamin C, dan zat besi dari ketiga perlakuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kandungan gizi dan kandungan mineral dalam masakan bayam berkuah

Jenis Zat Gizi	Jenis Masakan Sayur Bayam		
	P0	P1	P2
Air (%bb)*	94,74 ± 0,02 ^c	93,13 ± 0,04 ^b	88,25 ± 0,31 ^a
Abu (%bk)*	1,52 ± 0,01 ^a	5,67 ± 0,18 ^b	6,47 ± 0,16 ^c
Lemak (%bk)*	2,44 ± 0,13 ^a	9,70 ± 0,51 ^b	14,86 ± 0,14 ^c
Protein (%bk)*	2,26 ± 0,01 ^a	2,64 ± 0,01 ^b	2,73 ± 0,05 ^b
Karbohidrat (%bk)	88,52 ± 0,18 ^b	72,10 ± 14,04 ^{ab}	55,29 ± 7,45 ^a
Vitamin C (mg/100 g) (%bk)*	0,23 ± 0,01 ^a	0,81 ± 0,01 ^b	0,45 ± 0,00 ^c
Zat besi (mg/100 g) (%bk)*	17,51 ± 0,25 ^b	19,96 ± 0,10 ^c	7,42 ± 0,06 ^a

Keterangan:

N = 2

P0 : Sayur bayam hijau rebus tanpa tambahan bumbu

P1 : Sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci

P2 : Sayur bobor bayam dengan tambahan santan, kencur, ketumbar dan daun salam

*) Signifikan berdasarkan uji statistik

^{a,b,c}) Hasil uji ANOVA dan uji lanjut Duncan, huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($p < 0,05$)

%x: Rata-rata ± SD

3.3.1 Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter yang berkaitan dengan mutu pangan karena memengaruhi proporsi padatan, kestabilan selama penyimpanan, serta penentu mutu organoleptik terutama rasa dan tekstur (Paramita *et al.* 2021). Ketiga masakan bayam berkuah pada penelitian ini tergolong memiliki kadar air yang tinggi karena menggunakan media air sebagai komponen utama dalam proses pengolahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar air masakan bayam berkisar antara 88,25–94,74%bb. Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air ($p < 0,05$). Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata kadar air di antara ketiga perlakuan. Kadar air tertinggi diperoleh pada P0 (94,74%bb), diikuti P1 (93,13%bb), sedangkan kadar air terendah terdapat pada P2 (88,25%bb).

Perbedaan kadar air antarperlakuan dipengaruhi oleh komposisi bahan tambahan yang digunakan pada masing-masing perlakuan. Meskipun kadar air P1 lebih rendah dibandingkan P0, nilainya masih relatif tinggi karena adanya penambahan 25 g tomat segar dan 5 g rimpang temu kunci, yang berdasarkan TKPI (2019) masing-masing memiliki kandungan air sebesar 92,9% dan 90,0%. Kandungan air yang tinggi pada kedua bahan tersebut berkontribusi mempertahankan kadar air pada sayur bening bayam. Sebaliknya, kadar air terendah pada P2 disebabkan oleh penambahan 65 g santan, yang meningkatkan proporsi total padatan, terutama lemak dan protein. Santan diketahui mengandung lemak sekitar 16,61% (Fiana *et al.* 2019), sedangkan protein kelapa yang berperan sebagai *emulsifier* yang mengalami peningkatan viskositas akibat pemanasan, sehingga mampu mengikat air bebas untuk membentuk matriks hidangan yang lebih padat (Patil dan Benjakul 2018; Wu *et al.* 2023). Dengan demikian, penambahan santan tidak hanya meningkatkan kandungan padatan, tetapi juga mengubah struktur fisik hidangan melalui pembentukan matriks emulsi yang lebih kompak, sehingga menghasilkan kadar air yang lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya.

3.3.2 Kadar Abu

Kadar abu merupakan campuran dari komponen anorganik atau mineral pada suatu bahan yang mencerminkan total kandungan mineral, kemurnian, serta kebersihan suatu produk pangan. Selain itu kadar abu dapat memberikan indikasi mutu gizi mikro dalam sebuah produk pangan (Yolandari dan Batubara 2019). Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar abu masakan bayam berkisar antara 1,52–6,47%bk. Kadar abu terendah terdapat pada P0 (1,52%bk), sedangkan P1 dan P2 memiliki kadar abu yang lebih tinggi, masing-masing sebesar 5,70%bk dan 6,47%bk. Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar abu ($p < 0,05$). Oleh karena itu, analisis dilanjutkan menggunakan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) yang menunjukkan bahwa ketiga perlakuan berbeda nyata satu sama lain.

Peningkatan kadar abu pada P1 dipengaruhi oleh penambahan bumbu serta bahan pangan seperti tomat dan rimpang temu kunci yang berkontribusi terhadap

peningkatan kandungan mineral pada hidangan. Muchtarina (2020) melaporkan bahwa tomat memiliki kadar abu berkisar 5,48–6,10%. Berdasarkan penelitian Agustina *et al.* (2024) rimpang kunci memiliki kadar abu sebesar 0,33%. Sementara itu, kadar abu tertinggi pada P2 diduga disebabkan oleh penambahan santan dan berbagai bumbu yang menjadi sumber mineral tambahan. Menurut Kumolontang (2015), santan mengandung berbagai mineral, antara lain kalium, natrium, kalsium, magnesium, fosfor, dan zat besi, sehingga meningkatkan total residu anorganik yang terukur. Selain dipengaruhi oleh komposisi bahan, tingginya kadar abu pada P1 dan P2 juga berkaitan dengan penurunan kadar air selama proses pengolahan. Berkurangnya proporsi air menyebabkan konsentrasi padatan, termasuk mineral, menjadi lebih tinggi dibandingkan P0, sehingga persentase kadar abu yang diperoleh menjadi lebih tinggi. Dengan demikian, penambahan tomat, rimpang temu kunci, santan, dan bumbu tidak hanya memperkaya kandungan mineral masakan, tetapi juga membuat kadar abu sebagai indikator total mineral dalam produk menjadi lebih tinggi.

3.3.3 Kadar Lemak

Lemak adalah senyawa organik yang bersifat hidrofobik sehingga tidak larut dalam air, tetapi dapat larut dalam berbagai pelarut organik (Natesan dan Kim 2021). Dalam bahan pangan, lemak berperan sebagai sumber energi, pelarut vitamin larut lemak (A, D, E, dan K), media penghantar panas, serta berkontribusi terhadap tekstur dan cita rasa produk pangan (Fatimah *et al.* 2020; Febriani *et al.* 2020). Pada penelitian ini, kadar lemak ditentukan menggunakan metode Soxhlet, yaitu metode ekstraksi kontinu yang memanfaatkan pelarut nonpolar seperti heksana untuk melarutkan fraksi lemak dari sampel secara berulang (Stefanie *et al.* 2023). Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar lemak masakan bayam berkisar antara 2,44–14,86%bk, dengan kadar terendah pada P0 (2,44%bk), diikuti P1 (8,85%bk), dan tertinggi pada P2 (14,86%bk). Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar lemak ($p < 0,05$). Analisis kemudian dilanjutkan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) yang menunjukkan bahwa ketiga perlakuan memiliki perbedaan kadar lemak yang nyata satu sama lain.

Peningkatan kadar lemak pada perlakuan P1 tidak sepenuhnya mencerminkan kandungan lemak sejati, karena metode Soxhlet menggunakan pelarut nonpolar yang juga mampu mengekstraksi senyawa hidrofobik nonlipid, seperti likopen yang berasal dari tomat (Novrida *et al.* 2025). Sementara itu, kadar lemak tertinggi pada P2 terutama dipengaruhi oleh penambahan santan sebagai sumber lemak nabati dalam bentuk emulsi. Selama proses pemanasan, emulsi santan mengalami destabilisasi sehingga fase minyak kelapa lebih mudah terdispersi ke dalam hidangan. Santan mengandung trigliserida yang didominasi oleh asam laurat, asam miristat, dan asam palmitat (Escobar-Sáez *et al.* 2022). Ketiga asam lemak tersebut mudah larut dalam pelarut nonpolar selama proses ekstraksi Soxhlet, sehingga menghasilkan kadar lemak terukur yang lebih tinggi. Dengan demikian, penambahan santan menjadi faktor utama yang meningkatkan kadar lemak pada P2 dibandingkan P0 dan P1, sekaligus memberikan karakteristik khas pada sayur bobor berupa tekstur yang lebih kental dan cita rasa yang lebih gurih.

3.3.4 Kadar Protein

Protein merupakan senyawa makromolekul yang tersusun atas satu atau lebih rantai polipeptida yang dibentuk oleh asam amino melalui ikatan peptida. Dalam tubuh, protein berperan sebagai sumber energi, zat pembangun untuk pertumbuhan dan perbaikan jaringan, serta zat pengatur yang mendukung berbagai proses fisiologis. Kandungan protein dalam bahan pangan dapat dipengaruhi oleh proses pengolahan, terutama pemanasan, yang berpotensi menyebabkan denaturasi protein (Putri *et al.* 2021). Denaturasi merupakan perubahan struktur tiga dimensi protein tanpa memutus ikatan peptida sehingga mengubah sifat fisik maupun aktivitas biologisnya (Prasetyo *et al.* 2020). Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar protein masakan bayam berkisar antara 2,26–2,73%bk, dengan nilai terendah pada P0 (2,26%bk), diikuti P1 (2,64%bk), dan tertinggi pada P2 (2,73%bk). Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar protein ($p=0,001$; $p<0,05$). Analisis kemudian dilanjutkan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) yang menunjukkan bahwa kadar protein pada P1 dan P2 tidak berbeda nyata, namun keduanya berbeda nyata dibandingkan P0.

Kenaikan kadar protein dari P0 ke P1 dan P2 terjadi karena adanya penambahan bumbu dan juga bahan dan bahan pangan lain seperti tomat dan santan. Peningkatan protein pada P1 dapat terjadi karena adanya kandungan protein dari tomat sebesar 1,00% (Handrian *et al.* 2013), serta rimpang kunci sebesar 8,54% (Agustina *et al.* 2024). Sementara itu, kadar protein tertinggi pada P2 dipengaruhi oleh penambahan santan yang mengandung protein kelapa, terutama fraksi globulin dan albumin. Selama proses pemasakan, protein tersebut mengalami denaturasi akibat pemanasan. Pada saat yang sama, pemanasan menyebabkan sistem emulsi santan menjadi kurang stabil sehingga fase minyak terpisah dan protein kelapa menggumpal membentuk endapan yang dikenal sebagai blondo (Tanudjaja *et al.* 2026). Akumulasi protein yang terdenaturasi dan tetap berada dalam matriks hidangan berkontribusi terhadap tingginya kadar protein terukur pada P2. Dengan demikian, perbedaan kadar protein antarperlakuan tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan protein alami dari bahan tambahan, tetapi juga oleh perubahan struktur protein selama proses pemasakan yang memengaruhi distribusi protein dalam matriks pangan.

3.3.5 Kadar Karbohidrat

Karbohidrat merupakan sumber energi utama bagi tubuh manusia yang berperan dalam menjaga keseimbangan metabolisme dengan mencegah ketosis dan pemecahan protein secara berlebih. Karbohidrat juga mempengaruhi karakteristik fisik bahan pangan, termasuk aspek rasa, warna, dan tekstur (Fitri *et al.* 2020). Analisis kadar karbohidrat dilakukan menggunakan metode *by difference* yakni dengan menghitung selisih 100% terhadap persentase kadar air, kadar abu, kadar lemak, dan kadar protein. Kadar karbohidrat olahan sayur bayam sebesar 55,29–88,52%bk. Hasil *One-Way* ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan pengolahan masakan bayam berkuah tidak berpengaruh berbeda nyata secara signifikan ($p>0,05$) terhadap kadar karbohidrat total hidangan.

Hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan bahwa kadar karbohidrat P1 tidak berbeda nyata dengan P0 sebagai kontrol maupun P2.

Berdasarkan hasil analisis kadar karbohidrat menunjukkan bahwa P0 (88,52%) sebagai kontrol memiliki kadar karbohidrat tertinggi dan P2 (55,29%) memiliki kadar karbohidrat terendah. Penurunan kadar karbohidrat pada P2 terutama disebabkan oleh peningkatan kadar lemak dan abu akibat penambahan santan yang memiliki kandungan lemak tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Lu *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa santan mengandung lemak sebesar 33,5 %. Tingginya kandungan lemak santan menyebabkan proporsi karbohidrat yang dihitung menggunakan metode *by difference* menjadi lebih kecil.

3.3.6 Kadar Vitamin C

Vitamin C merupakan mikronutrien esensial dan antioksidan kuat yang sangat dibutuhkan tubuh dalam proses pertumbuhan serta metabolisme (See *et al.* 2024). Selain itu, vitamin C berfungsi meningkatkan penyerapan zat besi *non-heme* dengan mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang lebih mudah larut dan diserap tubuh (Fevria *et al.* 2023). Namun, vitamin C bersifat larut dalam air dan mudah mengalami degradasi akibat pemanasan selama proses pengolahan (Rosmiati 2021). Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar vitamin C masakan bayam berkisar antara 0,23–0,81%bk. Hasil uji *One-Way ANOVA* menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan berpengaruh signifikan terhadap vitamin C ($p < 0,05$). Hasil uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan bahwa kadar vitamin C pada perlakuan P1 berbeda nyata dengan P0 (kontrol) dan P2. P1 memiliki kadar vitamin C tertinggi (0,81%bk), sedangkan P0 menunjukkan kadar vitamin C terendah.

Tingginya kadar vitamin C pada P1 dipengaruhi oleh penambahan 25 g tomat segar, yang mampu mempertahankan vitamin C selama proses pengolahan. Meskipun kandungan vitamin C bayam segar (41 mg/100 g) secara alami lebih tinggi dibandingkan tomat merah segar (34 mg/100 g) (TKPI 2019), vitamin C pada P0 mudah larut ke dalam kuah dan mengalami degradasi akibat suhu perebusan. Sebaliknya, penambahan tomat pada P1 mampu mempertahankan sisa vitamin C lebih tinggi karena kandungan asam sitrat alami tomat yang dapat menurunkan pH yang secara kimiawi menstabilkan vitamin C dengan menghambat oksidasi dan mengkelat logam peroksidan yang dapat mempercepat kerusakan vitamin C (Wang *et al.* 2017). Sementara itu, stabilitas vitamin C pada perlakuan P2 cenderung lebih rendah dibandingkan P1 karena tidak terdapat sumber asam dominan yang dapat menstabilkan vitamin C. Selain faktor keasaman, rendahnya vitamin C pada P2 dapat dipicu oleh penambahan santan yang kaya akan lemak dan protein. Berdasarkan teori dari Anggraeni *et al.* (2024), kenaikan titik didih suatu larutan tidak dipengaruhi oleh jenis zatnya, melainkan oleh banyaknya jumlah partikel yang dihasilkan di dalam pelarut. Penambahan santan secara otomatis meningkatkan kerapatan partikel terdispersi (lemak dan protein) di dalam air, yang kemudian menghambat proses penguapan dan memicu kenaikan titik didih hidangan menjadi lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Rejeki dan Fahamsyah (2023) yang menyatakan bahwa proses pengolahan termal mempercepat kerusakan vitamin C karena sifatnya yang larut air dan sangat sensitif terhadap panas. Meskipun demikian, kadar vitamin C pada P2 masih lebih tinggi dibandingkan P0. Hal ini diduga dipengaruhi oleh

keberadaan kemiri dalam perlakuan sayur bobor yang mengandung senyawa fenolik bersifat antioksidan. Senyawa tersebut dapat membantu menghambat kerusakan oksidatif selama pemanasan sehingga sebagian vitamin C yang tersisa tetap lebih stabil di dalam matriks pangan (Satriani *et al.* 2024). Dengan demikian, kombinasi penambahan tomat pada P1 paling efektif dalam mempertahankan kadar vitamin C, sedangkan pada P2 kandungan vitamin C dipengaruhi oleh keseimbangan antara efek protektif senyawa antioksidan dari bumbu dan degradasi akibat matriks santan selama proses pemasakan.

3.3.7 Kadar Zat Besi

Zat besi merupakan salah satu zat gizi mikro yang berperan dalam proses hemopoesis, khususnya pada pembentukan molekul hemoglobin. Zat besi dapat ditemukan pada berbagai jenis bahan pangan, salah satunya adalah bayam hijau yang dikenal sebagai sayuran yang kaya akan kandungan zat besi (Rahmat *et al.* 2020). Tingginya konsumsi *junk food* akibat kemudahan akses, yang diperparah dengan kebiasaan remaja putri yang jarang makan sayur, menyebabkan mereka kekurangan zat gizi mikro seperti vitamin dan mineral. Kurangnya asupan zat besi dari pola makan tidak sehat ini menjadi pemicu terjadinya defisiensi zat besi yang berujung pada anemia (Jaswadi 2020). Kadar zat besi masakan sayur bayam berkuah dengan beberapa perlakuan sebesar 7,42%bk hingga 19,96%bk. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap zat besi masakan sayur bayam berkuah. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa perlakuan P1 berbeda nyata dengan P0 dan P2.

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan P1 memiliki kadar zat besi tertinggi sedangkan P2 memiliki kadar zat besi terendah. Meskipun secara teoritis kadar zat besi bayam rebus sudah cukup tinggi yaitu sebesar 19 mg/100 g (TKPI 2019). Penyusutan ini dipicu oleh pelarutan mineral zat besi dari jaringan bahan ke dalam air kuah selama perebusan. Fenomena penurunan ini sejalan dengan penelitian Prasetyo dan Isaura (2022). Sebaliknya penambahan, tomat pada P1 mampu membuat kadar zat besi menjadi lebih tinggi hingga 19,96 mg/100 g. Peningkatan ini sejalan dengan penelitian Amin (2021) senyawa seperti vitamin C dan beberapa asam organik diketahui dapat meningkatkan ketersediaan zat besi di dalam matriks pangan, serta membantu menstabilkan keberadaannya dari risiko degradasi selama pemanasan. Sementara, penurunan zat besi pada P2 (7,41 mg/100 g) disebabkan oleh penambahan emulsi santan yang kaya lemak dan miskin mineral. Kehadiran komponen lemak emulsi tersebut memicu efek pengenceran (*dilution effect*) yang memperkecil persentase konsentrasi zat besi dalam total bobot hidangan akhir. Penurunan kadar zat besi ini juga didukung oleh penelitian Bede *et al.* (2020) yang membuktikan bahwa sampel dengan substitusi atau penambahan bahan pangan dengan kadar mineral yang rendah ke dalam suatu perlakuan secara konsisten akan menurunkan konsentrasi zat besi total produk akhir akibat adanya pengenceran. Dalam penelitian ini, terdapat pencampuran 65 g santan yang di dominasi fraksi lipid namun memiliki kandungan zat besi yang rendah, terbukti memberikan dampak serupa dalam mereduksi kerapatan mineral pada masakan sayur bobor bayam P2.

3.4 Penentuan Perlakuan Terpilih

Pemilihan perlakuan terbaik dilakukan berdasarkan hasil analisis zat gizi makro, mikro, serta zat antigizi dengan kandungan gizi yang paling unggul di antara ketiga perlakuan. Kriteria utama dalam menentukan perlakuan terpilih adalah memiliki kadar zat besi dan vitamin C yang tinggi (sebagai *enhancer*), namun memiliki kadar oksalat larut air yang rendah (sebagai *inhibitor*), di samping karakteristik proksimat yang seimbang. Penentuan perlakuan terpilih dilakukan pada P0, P1, dan P2.

Berdasarkan analisis pada Tabel 2 dan Tabel 3, perlakuan P2 (sayur bobor) memang memiliki keunggulan dalam menekan kadar oksalat larut air hingga titik terendah ($0,47 \pm 0,01$ mg/100g) dan hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan kadar oksalat antar-perlakuan tersebut berpengaruh nyata. Namun, perlakuan P1 (sayur bening) secara keseluruhan menunjukkan kandungan gizi yang lebih seimbang, karena memiliki kadar zat besi total tertinggi ($19,96 \pm 0,10$ mg/100g) sekaligus kadar vitamin C tertinggi ($0,81 \pm 0,01$ mg/100g), di mana hasil uji lanjut menunjukkan keduanya berbeda nyata secara statistik ($p < 0,05$) dibandingkan perlakuan lainnya. Meskipun kadar oksalat larut air pada P1 ($0,58 \pm 0,01$ mg/100g) sedikit lebih tinggi daripada P2, namun nilai tersebut sudah mengalami penurunan jika dibandingkan dengan kontrol P0 ($1,49 \pm 0,03$ mg/100g). Oleh karena itu berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, P1 ditetapkan menjadi perlakuan terpilih karena memiliki rata-rata kandungan gizi sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan, yang selanjutnya akan dilakukan analisis bioaksesibilitas zat besi secara *in vitro*.

3.5 Kontribusi terhadap Angka Kecukupan Gizi (AKG)

Angka Kecukupan Gizi (AKG) adalah nilai rujukan yang menunjukkan kebutuhan zat gizi harian yang dianjurkan bagi hampir seluruh individu sehat berdasarkan kelompok usia, jenis kelamin, tingkat aktivitas fisik, dan kondisi fisiologis. AKG berfungsi sebagai acuan untuk menilai kecukupan asupan zat gizi serta sebagai dasar dalam penyusunan informasi nilai gizi pada label pangan (Permenkes 2019). Kontribusi zat gizi dari formula terpilih dihitung berdasarkan kandungan zat gizi dalam setiap takaran saji, kemudian dibandingkan dengan Angka Kecukupan Gizi (AKG) untuk remaja usia 13–15 tahun dan 16–18 tahun sesuai dengan Permenkes Nomor 28 Tahun 2019. Hasil perhitungan kontribusi zat gizi sayur bayam berkuah terhadap pemenuhan AKG remaja disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Kontribusi terhadap Angka Kecukupan Gizi (AKG)

Zat Gizi	Per 100 g	Per Saji (50 g)	%AKG perempuan 13-15 th	%AKG perempuan 16-18 th
Energi (kkal)	33	16	0,8	0,8
Protein (g)	0,2	0,1	0,2	0,2
Lemak (g)	1,0	0,5	0,7	0,7
Karbohidrat (g)	5,4	2,7	0,9	0,9
Zat Besi (mg)	1,5	0,8	5,0	5,0

Berdasarkan Tabel 4, satu sajian sayur bayam bening perlakuan terpilih (50 g atau 1 porsi) mengandung energi sebesar 16 kkal, protein 0,1 g, lemak 0,5 g, karbohidrat 2,7 g, dan zat besi 0,8 mg. Jika dibandingkan dengan Angka Kecukupan Gizi (AKG) remaja perempuan usia 13–18 tahun berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 28 Tahun 2019, satu takaran saji memberikan kontribusi energi sebesar 0,8% AKG, protein sebesar 0,2%AKG, lemak sebesar 0,7%AKG, karbohidrat sebesar 0,9%AKG, dan zat besi sebesar 5,0%AKG. Nilai kontribusi tersebut relatif sama pada kedua kelompok usia karena kebutuhan zat gizi remaja perempuan usia 13–15 tahun dan 16–18 tahun untuk komponen yang dihitung tidak berbeda secara bermakna.

Kontribusi energi, protein, lemak, dan karbohidrat dari satu takaran saji masih tergolong rendah, sehingga sayur bening bayam lebih berperan sebagai lauk atau pelengkap menu dibandingkan sebagai sumber utama zat gizi makro. Sebaliknya, kontribusi zat besi mencapai 5,0% AKG, lebih tinggi dibandingkan kontribusi zat gizi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kandungan energi produk rendah, sayur bening bayam tetap memberikan sumbangan terhadap pemenuhan kebutuhan zat besi harian. Keberadaan zat besi dalam bayam yang dipadukan dengan tomat sebagai sumber vitamin C juga berpotensi meningkatkan ketersediaan hayati zat besi melalui proses reduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang lebih mudah larut dan diserap tubuh. Oleh karena itu, konsumsi sayur bening bayam sebagai bagian dari pola makan yang seimbang berpotensi membantu pemenuhan kebutuhan zat besi, terutama pada remaja putri yang memiliki kebutuhan zat besi lebih tinggi akibat pertumbuhan dan kehilangan darah selama menstruasi. Meskipun kontribusi zat besi per takaran saji belum tergolong tinggi, konsumsi sayur bening bayam secara rutin bersama sumber pangan kaya zat besi lainnya dapat meningkatkan total asupan zat besi harian dan berkontribusi dalam upaya pencegahan anemia pada remaja putri (Permenkes 2019).

3.6 Bioaksesibilitas Zat Besi *In Vitro*

Bioaksesibilitas zat besi merepresentasikan zat besi yang dikonsumsi, diserap, hingga dimetabolisme oleh tubuh. Kandungan zat besi total tidak selalu menggambarkan jumlah zat besi yang tersedia untuk diserap tubuh, sehingga pengujian bioaksesibilitas diperlukan untuk mengukur zat besi yang tersedia selama proses pencernaan. Analisis *in vitro* zat besi dilakukan untuk menentukan ketersediaan zat besi dalam bahan pangan melalui simulasi proses pencernaan manusia yang dilakukan di laboratorium (Sulaiman *et al.* 2021) menggunakan metode INFOGEST 2.0. Hasil analisis bioaksesibilitas zat besi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil bioaksesibilitas zat besi dalam masakan sayur bayam berkuah

Perlakuan	P0	P1
Kandungan Zat Besi (mg/100g)	0,92 ± 0,01	1,50 ± 0,01
Zat Besi tersedia (mg/100g) (%bb)	0,005 ± 0,000	0,024 ± 0,002
Bioaksesibilitas Zat Besi (%bk)*	0,58 ± 0,07 ^a	1,59 ± 0,15 ^b

Keterangan:

N = 2

P0 : Sayur bayam hijau rebus tanpa tambahan bumbu

P1 : Sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci

*) Signifikan berdasarkan uji statistik

^{a,b)} Hasil uji *Independent Sample T-test*, huruf yang berbeda dalam satu baris menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($p < 0,05$)

%x: Rata-rata $\pm$ SD

Hasil analisis menunjukkan bahwa bioaksesibilitas zat besi pada masakan sayur bayam berkisar antara 0,58–1,59%bk. Analisis menggunakan *independent samples t-test* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) antara perlakuan P0 dan P1. Nilai bioaksesibilitas zat besi pada P0 (0,58%bk) lebih rendah dibandingkan P1 (1,59%bk). Hasil ini sejalan dengan penelitian Rodriguez-Ramiro *et al.* (2019) pada bayam rebus (*boiled spinach*), yang melaporkan bahwa bioaksesibilitas zat besi hanya mencapai sekitar 0,87% akibat keterikatan zat besi oleh matriks serat dan kandungan oksalat larut air alami pada bayam.

Perbedaan bioaksesibilitas zat besi antarperlakuan dipengaruhi oleh perubahan komposisi kimia yang terjadi selama proses pengolahan. Proses pengolahan bayam menjadi makanan berkuah merupakan salah satu metode *boiling* atau perebusan pada suhu sekitar 95–100°C yang diketahui dapat meningkatkan kualitas gizi, potensi senyawa bioaktif, serta menurunkan kandungan senyawa antigizi (Fratianni *et al.* 2021). Selama pemanasan, dinding sel bayam mengalami kerusakan dan jaringan menjadi lebih lunak sehingga senyawa antigizi, seperti oksalat larut air, lebih mudah berdifusi ke dalam media perebusan (Arias-Rico *et al.* 2020). Pada masakan bayam berkuah, oksalat larut air tetap berada di dalam kuah yang ikut dikonsumsi sehingga keberadaannya masih berpotensi memengaruhi ketersediaan mineral, termasuk zat besi.

Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan P1 (sayur bening bayam) dipilih sebagai perlakuan terbaik karena memiliki karakteristik gizi mikro yang paling baik dibandingkan perlakuan kontrol (P0). Perlakuan P1 memiliki kadar oksalat larut air yang lebih rendah ($0,58 \pm 0,01$ mg/100 g) dibandingkan P0 ($1,49 \pm 0,03$ mg/100 g), serta memiliki kadar zat besi ($19,96 \pm 0,10$ mg/100 g) dan vitamin C ($0,81 \pm 0,01$ mg/100 g) tertinggi. Penurunan kadar oksalat larut air pada P1 terutama dipengaruhi oleh proses pemanasan yang menyebabkan oksalat berdifusi keluar dari jaringan bayam ke dalam media perebusan (Fitriani 2016). Selain itu, penambahan tomat turut memberikan kontribusi melalui kandungan asam sitrat yang mampu mengkelat ion kalsium sehingga menghambat pembentukan kalsium oksalat dan meningkatkan kelarutan fraksi oksalat selama proses pemasakan (Barghouthy dan Somani 2021).

Tingginya bioaksesibilitas zat besi pada P1 diduga merupakan hasil interaksi beberapa komponen pangan. Vitamin C dari tomat berperan mereduksi besi ferri (Fe^{3+}) menjadi besi ferro (Fe^{2+}) yang lebih larut sehingga meningkatkan ketersediaan zat besi selama proses pencernaan (Almatsier 2012). Selain itu, vitamin C membantu mempertahankan kondisi asam yang mendukung kelarutan besi dan dapat meningkatkan penyerapan besi *non-heme* hingga empat kali lipat (Thamrin dan Masnilawati 2021). Di sisi lain, rimpang temu kunci mengandung senyawa flavonoid yang memiliki gugus hidroksil sehingga dapat bertindak sebagai reduktor (Shindo *et al.* 2006; Tewtrakul *et al.* 2003; Putra 2012). Aktivitas antioksidan temu kunci yang tinggi (Sugiharto *et al.* 2024) memungkinkan

flavonoid mendonorkan atom hidrogen untuk menghambat reaksi oksidasi berantai dan mempertahankan zat besi dalam bentuk Fe^{2+} yang lebih stabil (Hassanpour dan Doroudi 2023). Sinergi antara vitamin C dan flavonoid tersebut membantu mempertahankan zat besi tetap dalam bentuk yang larut serta mengurangi interaksi zat besi dengan oksalat larut air selama proses pencernaan. Kondisi ini menyebabkan lebih banyak zat besi tetap berada dalam fase larut dan tersedia untuk diserap, sehingga bioaksesibilitas zat besi pada P1 menjadi lebih tinggi secara signifikan hingga mencapai 1,59%, dibandingkan dengan perlakuan kontrol P0.

Selain itu, penurunan kadar oksalat larut air pada P1 juga diduga berkontribusi terhadap tingginya bioaksesibilitas zat besi. Secara teoritis, oksalat larut air di dalam lumen saluran cerna dapat berikatan dengan ion besi membentuk kompleks besi-oksalat yang memiliki kelarutan rendah sehingga mengurangi jumlah zat besi yang tetap berada dalam fraksi larut (*bioaccessible fraction*). Dengan berkurangnya kadar oksalat larut air, peluang terbentuknya kompleks tersebut menjadi lebih kecil sehingga lebih banyak zat besi tetap berada dalam bentuk terlarut dan berpotensi tersedia untuk ditranspor melalui *Divalent Metal Transporter-1* (DMT1) pada membran apikal enterosit usus halus (Yanatori dan Kishi 2019). Namun demikian, mekanisme tersebut masih merupakan penjelasan teoritis karena metode INFOGEST 2.0 pada penelitian ini hanya mengevaluasi bioaksesibilitas, yaitu fraksi zat besi yang tetap larut setelah simulasi pencernaan, dan belum dapat membuktikan proses absorpsi yang sebenarnya terjadi di usus.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa bioaksesibilitas zat besi pada sayur bening bayam (P1) dapat dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor, yaitu tingginya kadar zat besi, tingginya kandungan vitamin C, keberadaan flavonoid dari temu kunci, serta rendahnya kadar oksalat larut air. Kombinasi faktor-faktor tersebut diduga mempertahankan lebih banyak zat besi dalam fraksi larut selama simulasi pencernaan *in vitro*, sehingga P1 menghasilkan bioaksesibilitas zat besi tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya dan berpotensi lebih baik dalam mendukung pemanfaatan zat besi dari bayam (Kontoghiorghes *et al.* 2020).

IV SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Perlakuan masakan sayur bayam berkuah dilakukan pada tiga perlakuan yakni terdiri dari P0 (sayur bayam hijau rebus tanpa tambahan bumbu), P1 (Sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci), dan P2 (Sayur bobor bayam dengan tambahan santan, daun salam, kencur, dan ketumbar). Kandungan zat gizi berbeda nyata antar perlakuan kecuali kadar karbohidrat. Proses perebusan (*boiling*) pada suhu 100°C terbukti secara signifikan menurunkan kadar oksalat larut air pada bayam karena terjadinya pelunakan jaringan sel yang memicu pelepasan zat antigizi seperti oksalat ke dalam kuah. Perlakuan P1 (Sayur bening bayam dengan penambahan tomat dan rimpang kunci) merupakan perlakuan terbaik yang menghasilkan penurunan kadar oksalat larut air paling drastis, hingga $0,58 \pm 0,01$ mg/100g. Penurunan kadar oksalat larut dipengaruhi oleh efek pengenceran fisik volume air serta interaksi kimiawi asam sitrat tomat yang dapat mengkelat kalsium, sehingga mencegah terbentuknya endapan kalsium oksalat atau oksalat tidak larut.

Perlakuan P1 memiliki karakteristik gizi mikro yang superior dengan kandungan zat besi total sebesar $19,96 \pm 0,10$ mg/100g dan vitamin C sebesar $0,81 \pm 0,01$ mg/100g. Sinergi antara vitamin C dan zat besi ini sangat ideal untuk membuat bioaksesibilitas penyerapan zat besi di saluran cerna menjadi lebih tinggi guna berpotensi memenuhi kebutuhan zat besi, untuk mencegah anemia defisiensi besi, sekaligus berpotensi mempertahankan retensi oksalat larut air.

4.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan sifat senyawa zat besi *non-heme* dan vitamin C yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu serta paparan oksigen. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji stabilitas vitamin C dan zat besi *non-heme* selama penyimpanan guna mengevaluasi perubahan bioaksesibilitas zat besi serta potensi pembentukan oksalat sekunder akibat oksidasi asam askorbat. Selain itu, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh tingkat kematangan tomat terhadap kadar oksalat larut air dan bioaksesibilitas zat besi, serta modifikasi perlakuan P2 untuk membuat kadar zat besi menjadi lebih tinggi tanpa mengurangi kemampuannya dalam menurunkan kadar oksalat larut air. Secara praktis, masyarakat dianjurkan mengolah bayam menjadi sayur bening dengan penambahan tomat (P1) dan mengonsumsinya bersama kuah dalam keadaan segar agar penyerapan zat besi dapat berlangsung lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arias-Rico J, Macías-León FJ, Alanís-García E, Cruz-Cansino ND, Jaramillo-Morales OA, Barrera-Gálvez R, Ramírez-Moreno E. 2020. Study of edible plants: effects of boiling on nutritional, antioxidant, and physicochemical properties. *Foods*. 9(5):599. doi:10.3390/foods9050599.
- Agustina R. 2022. *Dapur Kita: Kumpulan Resep Masakan Nusantara*. Bandung:CV WAHANA IPTEK BANDUNG.
- Agustina S, Kurniawan MF, Nurhalimah S. 2024. Analisis sensori dan kimia stik substitusi tepung kacanghijau dengan penambahan rempah temu kunci. *Jurnal Pangan dan Gizi*. 14(1):54–65. doi:10.26714/jpg.14.1.2024.54-65.
- Almatsier S. 2012. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Amin F. 2021. Fortifikasi dan ketersediaan zat besi pada pangan berbasis kedelai menggunakan fortifikan biji wijen. *Jurnal Kartika Kimia*. 4(2):106–110. doi:10.26874/jkk.v4i2.91.
- Anggraeni E, Alya FD, Anwar GZ, Yanti IN, Nitya KS, Nisa NL, Hastari NA. 2024. Analisis pengaruh jenis larutan terhadap kenaikan titik didih larutan di dalam laboratorium kimia Universitas Negeri Semarang. *Jurnal Analis*. 3(1):95–101.
- Arifah FN, Fitria F, Septyaningrum E. 2024. Analisis kualitatif dan kuantitatif vitamin C pada buah ceremai (*Phyllanthus acidus* (L.) Skeels). *J. Pharma Bhakta*. 4(2):47–54. doi.org/10.56710/jpb.v4i2.117.
- Arsy ID, Pratiwi R, Wijaya OP, Silvana R. 2022. Karakteristik konsumsi teh dan anemia pada ibu hamil di Puskesmas Pembina Palembang. *MESINA (Medical Scientific Journal)*. 3(1): 28–34.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1992. Cara Uji Makanan dan Minuman SNI 01-2891-1992. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Balitbangkes RI. 2019. Laporan riskesdas 2018 Kementrian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Barghouthy Y, Somani BK. 2021. Role of citrus fruit juices in prevention of kidney stone disease (KSD): a narrative review. *Nutrients*. 13(11):4117. doi:10.3390/nu13114117.
- Bede EN, Mmuoasinam BC, Onuegbu NC, Ahaotu NN, Peter-Ikechukwu AI. 2020. Maize cob as dietary fiber source for high-fiber biscuit. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 12(1):138–144. doi:10.30574/gscbps.2020.12.1.0203.
- Brodkorb A, Egger L, Alminger M, Alvito P, Assuncao R, Ballance S, Bohn T, Bourlieu-Lacanal C, Boutrou R, Carriere F, et al. 2019. Infogest static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*. 14(20):991–1014. doi:10.1038/s41596-018-0119-1.
- Chai W, Liebman M, Kynast-Gales S, Massey L. 2004. Oxalate absorption and endogenous oxalate synthesis from ascorbate in calcium oxalate stone formers and non-stone formers. *Am J Kidney Dis*. 44:1060–1069.

- Chai W, Liebman M. 2004. Assessment of oxalate absorption from almonds and black beans with and without the use of an extrinsic label. *Journal of Urology*. 172(3):953–957. doi:10.1097/01.ju.0000135918.00761.8a
- Crivelli JJ, Mitchell T, Knight J, Wood KD, Assimios DG, Holmes RP, Fargue S. 2020. Contribution of dietary oxalate and oxalate precursors to urinary oxalate excretion. *Nutrients*. 13(1):62. doi: 10.3390/nu13010062.
- Escobar-Sáez D, Montero-Jiménez L, García-Herrera P, Sánchez-Mata MC. 2022. Plant-based drinks for vegetarian or vegan toddlers: Nutritional evaluation of commercial products, and review of health benefits and potential concerns. *Food Research International*. 160:111646. doi: 10.1016/j.foodres.2022.111646.
- Fatimah D, Sabila F, Tiyan R, Meilany S. 2020. Analisis kadar lemak pada bahan pangan. *Jurnal Pendidikan Teknologi Agroindustri*. 15(4):42–46.
- Febriani CD, Larasati D, Sampurno A. 2020. Pengaruh lama waktu pencelupan dalam nitrogen cair terhadap sifat fisik dan kimiawi bakso daging sapi selama penyimpanan beku. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*. 15(2):125–134. doi: 10.26623/jtphp.v15i2.2656.
- Fevria R, Vauzia V, Farma SA, Edwin E. 2023. Effect of ecoenzyme addition on vitamin C levels of spinach (*Amaranthus* sp.) cultivate hydroponically. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Biology, Science and Education (IcoBioSE 2021). Paris (FR): Atlantis Press. 32:224–230. doi:10.2991/978-94-6463-166-1_30.
- Fiana RM, Murtius WS, Ming A. 2019. Pengaruh perbandingan serbuk santan dan gula dalam pembuatan manisan instan beras rendang terhadap penerimaan konsumen dengan analisis sensori uji pembeda. *Agroteknika*. 2(1):1–10.
- Fратиanni A, D'Agostino A, Niro S, Bufano A, Paura B, Panfili G. 2021. Loss or gain of lipophilic bioactive compounds in vegetables after domestic cooking: effect of steaming and boiling. *Foods*. 10(5):960. doi:10.3390/foods10050960.
- Fitri AS, Arinda Y, Fitriana N. 2020. Analisis senyawa kimia pada karbohidrat. *SAINTEKS*. 17(1): 45–52.
- Fitriani H, Nurlailah, Rakhmina D. 2016. Kandungan asam oksalat sayur bayam. *Medical Laboratory Technology Journal*. 2(2):51–55. doi:10.31964/mltj.v2i2.95.
- Gwala S, Kyomugasho C, Wainaina I, Rousseau S, Hendrickx M, Grauwet T. 2020. Ageing, dehulling and cooking of Bambara groundnuts: consequences for mineral retention and in vitro bioaccessibility. *Food Func*. 1(11):2509–2521. doi: 10.1039/c9fo01731c.
- Handrian RG, Meiriani, Haryati. 2013. Peningkatan kadar vitamin C buah tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) dataran rendah dengan pemberian hormon GA₃. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*. 2(1):333–339.

- Hassanpour SH, Doroudi A. 2023. Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants. *Avicenna Journal of Phytomedicine*. 13(4):354–376. doi:10.22038/AJP.2023.21774.
- Hasin A, Zain R. 2019. Analisis kadar kalsium oksalat (CaC_2O_4) pada daun dan batang tanaman bayam di pasar tradisional kota Makassar. *Jurnal Media Laboran*, 9(1):6–11.
- Holmes RP, Ambrosius WT. 2025. Assimios DG. Dietary oxalate loads and renal oxalate handling. *J Urol*. 174:943-947.
- Huynh NK, Nguyen DH, Nguyen HV. 2022. Effects of processing on oxalate contents in plant foods: A review. *J Food Compos Anal*. 112:104685.
- Ibrahim R, Akmal N, Nuriizzatun. 2021. Pengaruh penggunaan EM4 dan sayur segar sebagai bahan kompos cair terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman bayam (*Amaranthus sp.*). *Jurnal Biology Education*. 9(2):151–166. doi: 10.32672/jbe.v9i2.3638.
- Ismail T, Akhtar S, Qamar M, Esatbeyoglu T, Sestili P, Saeed W, Lazarte CE. 2024. Effect of crop maturity stages and lactic acid fermentation on nutrient absorption properties, and bioaccessibility of Fe, Zn and Ca in *Spinacia oleracea* L. *Journal of Food Composition and Analysis*. 133:106427. doi:10.1016/j.jfca.2024.106427.
- Jaswadi. 2020. Hubungan sikap dengan kejadian anemia remaja putri di SMAN 9 Mataram. *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan)*. 4(3):12–15. doi:10.36312/jisip.v4i3.1144.
- Jauhari T, Purnamaningsih SL. 2021. Keragaman genetik dan fenotip pada dua populasi bayam hijau (*Amaranthus tricolor.*). *Jurnal Produksi Tanaman*. 9(2):140–144.
- [Kemenkes RI] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2016. *Pedoman pencegahan dan penanggulangan anemia pada remaja putri dan Wanita Usia Subur (WUS)*. Jakarta: Badan Litbang Kesehatan Kemenkes RI.
- [Kemenkes RI]. 2018. *Tabel Komposisi Pangan Indonesia (TKPI) Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Kontoghiorghes GJ, Kolnagou A, Kontoghiorghes CN, Mourouzidis L, Timoshnikov VA, Polyakov NE. 2020. Trying to solve the puzzle of the interaction of ascorbic acid and iron: redox, chelation and therapeutic implications. *Medicines*. 7(8):45. doi:10.3390/medicines7080045.
- Kristin N, Jutomo L, Boeky DLA. 2022. Hubungan asupan zat gizi besi dengan kadar hemoglobin remaja putri. *SEHATRAKYAT (Jurnal Kesehatan Masyarakat)*. 1(3):189–195. doi:10.54259/sehatrakyat.v1i3.1077.
- Kumolontang NP. 2015. Pengaruh penggunaan santan kelapa dan lama penyimpanan terhadap kualitas "cookies santan". *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 7(2):70–80. doi: 10.33749/jpti.v7i2.4803.

- Kulsum U. 2020. Pola menstruasi dengan terjadinya anemia pada remaja putri. *Jurnal Ilmu Keperawatan dan Kebidanan*. 11(2):314–327. doi:10.26751/jikk.v11i2.832.
- Liebman M, Costa G. 2000. Effects of calcium and magnesium on urinary oxalate excretion after oxalate loads. *Journal of Urology*. 163(5):1565–1569. doi:10.1016/S0022-5347(05)67667-8.
- Lu Y, Zhang Y, Wang S. 2024. From palm to plate: unveiling the potential of coconut as a plant-based food alternative. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 72(27):15058–15076. doi:10.1021/acs.jafc.3c09838.
- Mandistera FA, Luning PA, Fogliano V, Lakemond CMM. 2019. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. *Food Res Int*. 1(121):404–411. doi:10.1016/j.foodres.2019.03.052.
- Minekus M, Alminger M, Alvito P, Ballance S, Bohn T, Bourlieu C, Brodkorb A. 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food- an international consensus. *Food Func*. 5(6):1113–1124. doi:10.1039/c3fo60702j.
- Muammar M, Ismi J, Naufal I, Husnah H, Dahril D. 2020. Pengaruh konsumsi sayur tinggi oksalat terhadap terjadinya batu saluran kemih di Rumah Sakit Umum Daerah Zainoel Abidin Banda Aceh. *Jurnal Kedokteran Nanggroe Medika*. 3(2):1–6. doi:10.35324/jknamed.v3i2.68.
- Muchtarina NC. 2020. Karakteristik fisikokimia bubuk ampas tomat-apel hasil pengeringan pembusakan berbantu gelombang mikro. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 14(2):180–190. doi:10.21107/agrointek.v14i2.6331.
- Muzdalifah, Khairiah R. 2023. Efektifitas konsumsi bayam dalam menurunkan hipertensi pada ibu hamil di TPMB MULYANIH, SST TAHUN 2022: Effectiveness of Spinach Consumption in Reduce Hypertension in Pregnant Women at TPMB Mulyanih, SST 2022. *Jurnal Ilmiah Keperawatan (Scientific Journal of Nursing)*. 9(3):199–202. doi:33023/jikep.v9i3.1607.
- Natesan V, Kim SJ. 2021. Lipid metabolism, disorders and therapeutic drugs-review. *Biomolecules and Therapeutics*. 29(6): 596–604. doi:10.4062/biomolther.2021.122.
- Novrida AS, Pujiastuti DY, Saputra E. 2025. Bilangan peroksida ketengikan minyak ikan gabus (*Channa striata*) selama penyimpanan dengan penambahan likopen kasar buah tomat (*Lycopersicon esculentum*). *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 21(2):115–123. doi: 10.14710/ijfst.21.2.115-123.
- Pamela DDA, Nurmala I, Ayu RS. 2022. Faktor risiko dan pencegahan anemia pada wanita usia subur di berbagai negara. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 18(3):161–170. doi:10.19184/ikesma.v18i3.26510.

- Paramita VD, Hr Y, Rosalin R, Purnama I. 2021. Pengaruh berbagai metode pengeringan terhadap kadar air, abu dan protein tepung daun kelor. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. Makassar (ID): Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Patil UN, Benjakul S. 2018. Coconut milk and coconut oil: Their manufacture associated with protein functionality. *Journal of Food Science*. 83(8): 2019–2027. doi: 10.1111/1750-3841.14223.
- Permenkes] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2019 tentang Angka Kecukupan Gizi yang dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia. 2019.
- Petroski W, Minich DM. 2020. Is there such a thing as “anti-nutrients”? A narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*. 12(10):2929. doi:10.3390/nu12102929.
- Piskin E, Cinciosi D, Gulec S, Tomas M, Capanoglu E. 2022. Iron absorption: factors, limitations, and improvement methods. *ACS omega*. 7(24): 20441–20456.
- Prasetyo AF, Isaura ER. 2022. Perbedaan kadar zat besi berdasarkan waktu pemasakan dan metode yang diterapkan pada tempe dan hati sapi: sebuah studi eksperimental. *Media Gizi Indonesia*. 17(2):122–129. doi: 10.204736/mgi.v17i2.159-167.
- Prasetyo MS, Akbar A, Istiqlaliyah H. 2020. Analisa heat transfer alat pasteurisasi susu. *Jurnal Mesin Nusantara*. 3(1):1–8. doi: 10.29407/jmn.v3i1.14217
- Pratiwi AR, Al-Baaarri AN, Hasdar M, Nurrahman, Nurhidajah, Rohadi, Sumardi. 2020. *Pangan Untuk Sistem Imun*. Semarang: SCU Knowledge Media.
- Prazali A, Azizah AN. 2025. Biological study of protein content in various types of vegetables. *Indonesian Journal of Tropical Biology*. 1(1):25–35.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2025. *Statistik Pertanian 2025*. Jakarta (ID): Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian.
- Puspitasari A, Mahayana A. 2021. Penentuan kadar asam oksalat pada bayam hijau (*Amaranthus Gangeticus*) dan bayam merah (*Amaranthus Spinousus*) menggunakan metode spektrofotometri. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*. 2(1): 32–38. doi:10.31001/jkireka.v2i1.24.
- Putra RY, Haryati H, Mawarni L. 2012. Respons pertumbuhan dan hasil bawang sabrang (*Eleutherine americana* Merr.) pada beberapa jarak tanam dan berbagai tingkat pemotongan umbi bibit. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*. 1(1): 159–171. doi: 10.32734/jaet.v1i1.666.
- Putri BNK, Suparthana IP, Trisna Darmayanti LP. 2021. Pengaruh lama perebusan kedelai terhadap karakteristik kedelai terfermentasi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan* (ITEPA). 10(3):492. doi: 10.24843/itepa.2021.v10.i03.p16.

- Rahmat M, Priawantiputri W, Pusparini P. 2020. Cookies bayam sorgum sebagai makanan tambahan tinggi zat besi untuk ibu hamil anemia. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*. 12(2):245–254. doi: 10.34011/juriskesbdg.v12i2.1775.
- Rejeki DS, Fahamsya A. 2023. Pengaruh proses pengukusan sawi pakcoy (*Brassica chinensis* L.) terhadap kadar vitamin C menggunakan metode iodimetri dan spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*. 9(1):105–117. doi: 10.33474/e-jbst.v9i1.545.
- Rodriguez-Ramiro I, Dell'Aquila C, Ward JL, Neal AL, Bruggraber SFA, Shewry PR, Fairweather-Tait S. 2019. Estimation of the iron bioavailability in green vegetables using an in vitro digestion/Caco-2 cell model. *Food Chem*. 301:125292. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125292.
- Rodriguez-Ramiro I, Dell'Aquila C, Ward JL, Neal AL, Bruggraber SFA, Shewry PR, Fairweather-Tait S. 2019. Estimation of the iron bioavailability in green vegetables using an in vitro digestion/Caco-2 cell model. *Food Chem*. 301:125292. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125292.
- Rosmiati HP. 2021. Tinjauan proses penentuan prosedur kadar vitamin C secara kimia di PT Tekad Mandiri Citra. *Jurnal Sosial dan Sains*. 1204–1210.
- Saidi IA, Azara R, Yanti E. 2021. *Buku Ajar Pasca Panen dan Pengolahan Sayuran Daun*. Sidoarjo: UMSIDA PRESS.
- Sarker U, Hossain MM, Oba S. 2020. Nutritional and antioxidant components and antioxidant capacity in green morph Amaranthus leafy vegetable. *Scientific Reports*. 10(1):1336. doi:10.1038/s41598-020-57687-3.
- Sarma U, Bhavya TR. 2024. Dietary phytonutrients in common green leafy vegetables and the significant role of processing techniques on spinach: A review. *Food Production, Processing and Nutrition*. 6(10): 1–15. doi: 10.1186/s43014-023-00192-7.
- Satriani S, Fauzi M, Hasniah. 2024. Identifikasi senyawa kimia ekstrak etanol biji kemiri (*Aleurites moluccana* L.) dan ekstrak lidah buaya (*Aloe vera* Burm.f.) di Kalimantan Selatan. *Jurnal Farmasi IKIFA*. 3(2):67–548.
- Savage GPL, Vanhanen SM, Mason AB, Ross. 2000. Effect of cooking on the soluble and insoluble oxalate content of some new zealand foods. *Journal of Food Composition and Analysis*. 13(1):201–206. doi:10.1006/jfca.2000.0879.
- Shindo K, Kato M, Kinoshita A, Kobayashi A, Koike Y. 2006. Analysis of antioxidant activities contained in the Boesenbergia pandurata Schult. rhizome. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 70(9):2281–2284. doi:10.1271/bbb.60086.
- See XZ, Yeo WS, Saptoro A. 2024. A comprehensive review and recent advances of vitamin C: Overview, functions, sources, applications, market survey and processes. *Chemical Engineering Research and Design*. 206:108–129. doi: 10.1016/j.cherd.2024.04.048.

- Simanjuntak BY. 2025. Pemanfaatan pangan lokal sebagai penanggulangan anemia gizi pada wanita usia subur. *Book Chapter of Anemia*. 1(2):77–89. doi: 10.5281/zenodo.15892864.
- Stefanie SY, Condro N, Mano N. 2023. Analisis kadar lemak pada produk coklat di rumah coklat. *Jurnal Pertanian Terpadu Santo Thomas Aquinas*. 2(1):19–25. doi: 10.5281/jupiter-sta.v2i1.51.
- Sudjarwo. 2017. Optimization and validation of visible-spechtrphotometry method for determination ascorbic acid in Jeruk Bali (*Citrus maxima*) fruit from Indonesia. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*. 8(2):44–48.
- Sugiharto, Faradila D, Aningrum KR, Hakiki FDN, Sa'adah AZ, Zahroh UF, Soepriandono H, Manuhara YSW. 2024. Potential of jahe merah (*Zingiber officinale*) and temu kunci (*Boesenbergia rotunda*): as stimulator of antioxidant enzyme activity and anticancer in HepG2 cell line. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 17(8):3599–3606. doi:10.52711/0974-360X.2024.00562.
- Sulaiman N, Givens DI, Anitha S. 2021. A narrative review: in-vitro methods for assessing bio-accessibility/bioavailability of iron in plant-based foods. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5:727533. doi: 10.3389/fsufs.2021.727533.
- Suyuti S, Jusriani R, Syahrir S. 2025. Hubungan intake protein, inhibitor, dan enhancer dengan kejadian anemia pada remaja. *Quality : Jurnal Kesehatan*, 19(1):47–55. doi:10.36082/qjk.v19i1.2130.
- Tanudjaja M, Wahyuni S, Fauzan A. 2026. Rekonstruksi lemak santan pada rendang: pengaruh substitusi oat milk dan minyak kelapa terhadap retensi cita rasa autentik dan *mouthfeel*. *Gastrodemica Journal*. 1(1): 31–39.
- Tewtrakul S, Subhadhirasakul S. 2003. HIV-1 protease inhibitory substances from the rhizomes of *Boesenbergia pandurata* Holtt. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 25(4):503–508.
- Thamrin H, Masnilawati A. 2021. Hubungan antara pengetahuan, tingkat konsumsi protein, zat besi, dan vitamin C dengan kadar hemoglobin pada mahasiswi kebidanan. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*. 12:30–33. doi: 10.33846/sf12nk206.
- Vogel A. 1989. *Text book of Quantitative Chemical Analysis, 5th Edition*, Longman, London: Harlow.
- Wang J, Law CL, Mujumdar AS, Xiao HW. 2017. The degradation mechanism and kinetics of vitamin C in fruits and vegetables during thermal processing. Di dalam: Nema PK, Kaur BP, Mujumdar AS, editor. *Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications*. Singapore: Springer. 227–253.
- Wardani RK, Handrianto P. 2019. *Reduksi kalsium oksalat pada umbi porang dengan larutan asam*. Gresik: Graniti.

- Wu J, Tang Y, Chen W, Chen H, Zhong Q, Pei J, Han T, Chen W, Zhang M. 2023. Mechanism for improving coconut milk emulsions viscosity by modifying coconut protein structure with monosodium glutamate. *International Journal of Biological Macromolecules*. 252: 126139. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126139.
- Yanatori I, Kishi F. 2019. DMT1 and iron transport. *Free Radical Biology and Medicine*. 133:55–63. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.430.
- Yolandari A, Batubara SC. 2019. Formulasi minuman serbuk instan mentimun menggunakan metode mixture design. *Jurnal Teknologi Pangan dan Kesehatan (The Journal of Food Technology and Health)*. 1(2):75–92.

