



Pengaruh Substitusi Tepung Tempe Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap Kadar Air dan Aktivitas Air Crackers

The Effect of Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) Tempeh Flour Substitution on the Moisture Content and Water Activity of Crackers

Chintya Ardana Febri Lestari ^{*,1}, Aan Sofyan ¹

¹ Program Studi Ilmu Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: chintyalestari21@gmail.com

Abstrak. Tempe edamame hasil dari fermentasi menggunakan kapang *Rhizopus sp.* mengandung protein tinggi dan gugus hidrofilik yang memengaruhi interaksi bahan dengan air. Sifat ini berpotensi memengaruhi sifat fungsional crackers melalui perubahan kadar air dan aktivitas air. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh substitusi tepung tempe edamame terhadap kadar air dan aktivitas air crackers sebagai indikator sifat fungsional. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan desain Rancangan Acak Lengkap, dengan tiga taraf substitusi tepung terigu dengan tepung tempe edamame (0%, 5%, 15%). Tahapan penelitian meliputi pembuatan tempe edamame, pengolahan menjadi tepung, produksi crackers, serta pengujian kadar air dan aktivitas air. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Pangan Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Laboratorium SIG, Semarang. Hasil penelitian menunjukkan kadar air crackers berkisar 6,36–6,80% melebihi batas maksimum SNI 2973-2011 ($\leq 5\%$) dan tidak berbeda signifikan antarperlakuan, sedangkan aktivitas air berbeda nyata ($p < 0,05$), dengan nilai tertinggi 0,40 pada substitusi 15%. Kesimpulannya, substitusi tepung tempe edamame hingga 15% meningkatkan aktivitas air crackers, sementara kadar air tidak berbeda signifikan, menunjukkan adanya peningkatan ketersediaan air bebas tanpa mengubah total kandungan air. Penelitian ini menunjukkan tempe edamame berpotensi sebagai bahan fungsional baru dalam pembuatan crackers melalui pengaruhnya terhadap aktivitas air sebagai indikator sifat fungsional pangan kering.

Kata kunci: tempe edamame, tepung tempe, crackers, fisikokimia

Abstract. Tempe edamame, produced through fermentation using *Rhizopus sp.* mold, is high in protein and contains hydrophilic groups that influence the interaction of ingredients with water. This property has the potential to affect the functional properties of crackers by changing their moisture content and water activity. This research aims to analyze the effect of edamame tempeh flour substitution on the moisture content and water activity of crackers as indicators of functional properties. The research used an experimental method with a completely randomized design, with three levels of wheat flour substitution with edamame tempeh flour (0%, 5%, 15%). The research stages include making edamame tempeh, processing it into flour, producing crackers, and testing moisture content and water activity. The research was conducted at the Food Science Laboratory of Muhammadiyah University of Surakarta and the GIS Laboratory in Semarang. The research

results showed that the moisture content of the crackers ranged from 6.36% to 6.80%, exceeding the maximum limit of SNI 2973-2011 ($\leq 5\%$) and did not differ significantly between treatments, while water activity differed significantly ($p < 0.05$), with the highest value of 0.40 at 15% substitution. In conclusion, substituting edamame tempeh flour up to 15% increased the water activity of the crackers, while the moisture content did not differ significantly, indicating an increase in free water availability without changing the total water content. This research shows that edamame tempeh has the potential to be a new functional ingredient in cracker production due to its influence on water activity as an indicator of the functional properties of dry food.

Keywords: *tempeh edamame, tempeh flour, crackers, physicochemical.*

1. Pendahuluan

Kedelai merupakan bahan pangan sumber protein nabati yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pengembangan produk pangan olahan, termasuk produk berbasis tepung (Hulu, 2023). Produksi kedelai nasional yang belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri mendorong perlunya inovasi pengolahan untuk meningkatkan nilai tambah (Soverda *et al.*, 2023). Salah satu bentuk inovasi tersebut adalah pengembangan produk pangan kering berbasis kedelai yang memiliki mutu fisik yang baik dan berpotensi mendukung stabilitas produk.

Edamame merupakan jenis kedelai dengan nilai gizi dan nilai ekonomi yang tinggi sehingga berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku produk pangan olahan (Rahman *et al.*, 2019). Sebagai kedelai sayur yang dipanen pada fase biji muda, edamame memiliki keunggulan dibandingkan kedelai biji matang yang umum digunakan sebagai bahan baku tempe, terutama dari segi kandungan protein berkualitas, vitamin, serta karakteristik rasa yang lebih manis dan tekstur yang lebih lembut (Zaki *et al.*, 2024). Keunggulan ini membuat edamame bernilai nutrisi sekaligus berpotensi fungsional dan organoleptik dalam pengembangan produk olahan bernilai tambah (Pavlovic *et al.*, 2024). Kandungan protein edamame lebih tinggi yaitu 41,3%, dibandingkan dengan jenis kedelai lainnya yaitu 35,3% sehingga berpotensi sebagai sumber protein nabati bermutu (Djanta *et al.*, 2020). Meskipun demikian, tingkat konsumsi edamame di Indonesia masih relatif rendah karena keterbatasan pengetahuan masyarakat mengenai nilai gizinya (Sularno *et al.*, 2022). Untuk meningkatkan pemanfaatannya, edamame dapat difermentasi menjadi tempe, yang berfungsi meningkatkan pencernaan protein sekaligus mempertahankan kandungan gizi.

Tempe merupakan produk fermentasi kedelai menggunakan kapang *Rhizopus* sp. yang memiliki nilai gizi tinggi dan menjadi sumber protein nabati penting bagi masyarakat Indonesia (Saktiono *et al.*, 2023). Selain kedelai, penelitian juga menunjukkan bahwa tempe dapat dibuat dari berbagai kacang lain seperti kacang hijau, kacang merah, kacang gude, lamtoro, dan kacang koro yang memiliki kandungan protein dan karakteristik nutrisi yang berbeda-beda tetapi tetap menunjukkan potensi sebagai sumber protein nabati melalui fermentasi *Rhizopus* (tempe non-kedelai) (Valen, 2023). Biji edamame difermentasi terlebih dahulu menjadi tempe edamame

karena fermentasi dapat meningkatkan pencernaan protein, menurunkan faktor anti gizi (Raharjo *et al.*, 2019), serta menguraikan senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga protein tersebut lebih mudah diserap oleh tubuh (Fadhilah *et al.*, 2018). Proses fermentasi menyebabkan sebagian protein edamame terdegradasi menjadi peptida lebih kecil, meningkatkan kelarutan protein dan jumlah gugus hidrofilik, sehingga kapasitas penyerapan dan daya ikat air meningkat (Puteri *et al.*, 2018). Hal ini mendukung kemampuan bahan dalam mempertahankan air selama pengolahan (Alrosan *et al.*, 2025). Oleh karena itu, proses ini membuat fermentasi menjadi tahap penting sebelum pengolahan edamame menjadi tepung, karena jika tanpa fermentasi, senyawa kompleks dan faktor anti gizi dapat mengurangi kualitas nutrisi dan pencernaan produk akhir, serta mutu kadar air dan aktivitas air produk. Meskipun demikian, tempe memiliki kelemahan berupa umur simpan yang pendek akibat kadar air tinggi dan pertumbuhan mikroba. Oleh karena itu, pengolahan tempe menjadi tepung bertujuan memperpanjang masa simpan dan meningkatkan fleksibilitasnya sebagai bahan pangan (Dewi *et al.*, 2024).

Pengolahan tempe menjadi tepung tidak hanya memperpanjang masa simpan, tetapi juga berpotensi memengaruhi kadar air dan aktivitas air produk melalui perubahan karakteristik protein yang berperan dalam sifat fungsional bahan. Substitusi tepung tempe dapat meningkatkan kadar air dan aktivitas air pada *crackers* sehingga berpotensi memengaruhi mutu produk pangan (Selawati *et al.*, 2024). Kadar air pada *crackers* berkorelasi dengan aktivitas air, semakin tinggi kadar air, aktivitas air juga meningkat (Delviani *et al.*, 2021). Peningkatan kadar air dapat mempercepat penurunan mutu produk selama penyimpanan (Nalawati *et al.*, 2024). Aktivitas air yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme pada produk pangan (Astuti *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pengendalian kadar air dan aktivitas air menjadi aspek penting pada produk pangan kering, termasuk *crackers*, untuk mempertahankan mutu produk.

Crackers merupakan makanan ringan yang banyak dikonsumsi karena memiliki tekstur renyah dan umur simpan panjang. *Crackers* umumnya berbahan dasar tepung terigu sehingga memiliki kandungan protein yang relatif rendah (Selawati *et al.*, 2024). Substitusi tepung terigu menggunakan tepung tempe mampu meningkatkan kandungan protein produk tanpa menurunkan mutu organoleptik (Seftiono *et al.*, 2019). Tepung tempe edamame memiliki potensi sebagai bahan pangan fungsional yang dapat mendukung pemenuhan asupan protein (Wibowo & Akbar, 2023). Pemenuhan asupan protein berperan penting dalam pencegahan stunting pada anak (Sudirman *et al.*, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan pemanfaatan tepung tempe dalam pengembangan produk pangan kering, dengan fokus pada karakteristik fisikokimia dan organoleptik (Seftiono *et al.*, 2019). Tepung edamame juga dilaporkan dapat meningkatkan

kandungan protein pada produk substitusi tepung (Wibowo & Akbar, 2023). Namun, bahan tempe pada penelitian terdahulu umumnya berasal dari kedelai biji matang atau edamame tanpa melalui proses fermentasi, sehingga belum merepresentasikan karakteristik fungsional tepung tempe edamame yang mengalami perubahan struktur protein akibat fermentasi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi tepung tempe edamame terhadap kadar air dan aktivitas air pada *crackers*, karena kedua parameter tersebut berperan penting dalam menentukan tekstur, kerenyahan, dan stabilitas fisik produk selama penyimpanan (Astuti *et al.*, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi tepung tempe edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap kadar air dan aktivitas air pada *crackers*, serta membandingkannya dengan persyaratan mutu yang ditetapkan dalam SNI dan temuan penelitian terdahulu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi tepung tempe edamame dalam memengaruhi sifat fungsional produk, khususnya terkait kadar air dan aktivitas air, sehingga mendukung pengembangan formulasi *crackers* berbasis tepung tempe edamame.

2. Bahan dan Metode

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi tepung tempe edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap kadar air dan aktivitas air pada *crackers*. Desain penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial, dengan faktor perlakuan berupa jenis tepung, yaitu tepung terigu dan tepung tempe edamame, yang terdiri atas tiga taraf perlakuan termasuk kontrol. Desain faktorial ini memungkinkan analisis pengaruh utama masing-masing tepung serta interaksi antara tepung terigu dan tepung tempe edamame terhadap kadar air dan aktivitas air produk.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga Juni 2025. Proses pembuatan produk *crackers* dilakukan di Laboratorium Ilmu Pangan, Program Studi Ilmu Gizi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, sedangkan pengujian kadar air dan aktivitas air dilakukan di Laboratorium Saraswanti Indo Genetech (SIG), Semarang, Jawa Tengah.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan tempe edamame meliputi kedelai edamame segar (*Glycine max* (L.) Merrill) varietas Ryoko dengan ukuran polong besar dan biji utuh, ragi khusus untuk tempe dengan merk raprima, dan akuades. Pembuatan tepung tempe edamame menggunakan bahan utama berupa tempe edamame. Bahan untuk pembuatan *crackers* terdiri atas tepung terigu protein rendah dengan merk kunci biru, tepung tempe edamame, gula, garam, ragi khusus untuk membuat kue dengan merk fermipan, *baking powder* dengan merk R&W, air matang, dan margarin dengan merk royal palmia. Alat yang digunakan dalam pembuatan tempe edamame meliputi panci, kompor dengan merk rinnai, timbangan digital dengan merk goto tesla

precise, gunting, tusuk gigi, sendok, nampan, saringan, plastik pembungkus, *impulse sealer* untuk menyegel plastik kemasan tempe dengan merk *Double Leopard* SP200H, gelas ukur dengan merk *green leaf*, dan *stopwatch* dengan merk joyko. Pembuatan tepung tempe edamame menggunakan pisau, talenan, *cabinet dryer* untuk proses pengeringan tempe dengan merk wirastar tipe *food dehydrator user manual* FDH-30, grinder untuk menghaluskan tempe yang sudah kering dengan merk fomac tipe FCT-Z200, ayakan 60 mesh, dandang, kompor dengan merk rinnai, dan alat pengatur suhu (Widyahapsari & Setyawati, 2024). Pembuatan *crackers* menggunakan baskom, timbangan, plastik wrap, *pasta maker*, *rolling pin*, pisau, garpu, talenan, gelas ukur, loyang, *baking paper*, oven, dan *stopwatch* (Batista et al., 2019). Pengujian kadar air ini mengacu pada Nalawati et al. (2024). Alat yang digunakan dalam pengujian ini yaitu timbangan analitik, oven, kotak timbang, desikator, mortar, stamper, penjepit, sendok tanduk, dan *stopwatch*. Bahan yang digunakan yaitu *crackers* substitusi tepung tempe edamame 0%, 5%, dan 15%. Pengujian aktivitas air ini mengacu pada Surahman et al. (2020). Alat yang digunakan dalam pengujian ini yaitu *water activity meter* (Aw meter) serta mortar, stamper, sendok tanduk, dan *stopwatch*. Bahan yang digunakan yaitu *crackers* substitusi tepung tempe edamame 0%, 5%, dan 15%. Seluruh bahan dan alat dipersiapkan dalam kondisi bersih dan layak pakai untuk menjamin keakuratan hasil pengujian.

2.1. Cara Pembuatan Tempe Edamame

Cara pembuatan tempe edamame ini mengacu pada Suknia and Rahmani (2020). Pembuatan tempe edamame diawali dengan edamame dikupas kemudian ditimbang sebanyak 1 kg, lalu dicuci menggunakan air mengalir dan direbus menggunakan 4 L akuades selama 30 menit. Selanjutnya, edamame direndam menggunakan akuades bekas rebusan selama 12 jam. Setelah perendaman, kulit ari dikupas, biji dibelah menjadi dua, dan dicuci bersih sebanyak delapan kali menggunakan air mengalir. Edamame kemudian direbus kembali menggunakan 3 L air akuades selama ± 20 menit, ditiriskan, dan didinginkan selama ± 35 menit. Ragi sebanyak 2 g ditambahkan dan dicampurkan hingga merata. Edamame dikemas masing-masing sebanyak 50 g ke dalam plastik yang telah dilubangi, kemudian disimpan pada suhu 24 °C selama 48 jam hingga proses fermentasi berlangsung.

2.2. Cara Pembuatan Tepung Tempe Edamame

Cara pembuatan tepung tempe edamame ini mengacu pada Widyahapsari and Setyawati (2024). Pembuatan tepung tempe edamame diawali dengan tempe edamame dipotong tipis dengan ketebalan $\pm 0,5$ cm, kemudian dikukus pada suhu 80 °C selama 10 menit. Setelah itu, tempe ditiriskan dan didinginkan pada suhu ruang. Tempe selanjutnya dikeringkan menggunakan *cabinet dryer* pada suhu 60 °C selama 5 jam hingga kering. Bahan kering kemudian dihaluskan

menggunakan *grinder* dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Tepung yang dihasilkan ditimbang dan disimpan di dalam lemari pendingin hingga digunakan dalam tahap penelitian berikutnya.

2.3. Cara Pembuatan *Crackers*

Formula yang digunakan dalam pembuatan *crackers* substitusi tepung tempe edamame *Glycine Max* (L.) Merrill mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh [Selawati et al. \(2024\)](#), dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

Cara pembuatan *crackers* ini mengacu pada [Batista et al. \(2019\)](#). Pembuatan *crackers* diawali dengan menyiapkan seluruh alat dan bahan, kemudian menimbang tepung terigu, tepung tempe edamame, gula, garam, ragi, *baking powder*, dan margarin sesuai formulasi. Air diukur sesuai volume yang ditetapkan, kemudian seluruh bahan dicampur dan diuleni hingga membentuk adonan yang homogen dan kohesif. Adonan didiamkan selama 30 menit dalam wadah tertutup menggunakan plastik *wrap*. Adonan selanjutnya dipipihkan hingga ketebalan ± 2 mm menggunakan *pasta maker* dan *rolling pin*, lalu dipotong berbentuk persegi berukuran ± 4 cm dan permukaannya ditusuk menggunakan garpu. Pemanggangan dilakukan pada suhu 180°C selama 15 menit. Produk *crackers* yang dihasilkan kemudian ditimbang dan siap untuk analisis selanjutnya.

Tabel 1. Formula *Crackers* Substitusi Tepung Tempe Edamame (*Glycine Max* (L.) Merrill)

Komposisi	Substitusi Tepung Tempe Edamame (%)		
	0	5	15
Tepung tempe edamame (g)	0	5	15
Tepung terigu (g)	100	95	85
Gula (g)	2	2	2
Garam (g)	1	1	1
Air (ml)	44	44	44
Ragi (g)	1	1	1
<i>Baking Powder</i> (g)	1	1	1
Margarin (g)	10	10	10

2.4. Analisis Kadar Air Metode Gravimetri

Analisis kadar air dilakukan dengan mengacu pada metode yang digunakan oleh [Nalawati et al. \(2024\)](#). Analisis kadar air diawali dengan sampel dan alat disiapkan dalam kondisi bersih dan siap pakai. Sampel dihaluskan menggunakan mortir dan stamper hingga berbentuk serbuk. Kotak timbang kosong dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 30 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 5 menit dan ditimbang. Sebanyak 2 g sampel serbuk ditimbang ke dalam kotak timbang yang telah diketahui bobotnya. Selanjutnya, sampel dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam untuk menghilangkan air. Kotak timbang kemudian didinginkan dalam desikator selama 5 menit dan ditimbang kembali. Proses pemanasan selama 20 menit, pendinginan, dan penimbangan diulang hingga diperoleh bobot tetap, yaitu selisih dua

penimbangan berturut-turut kurang dari 0,2 mg. Kadar air sampel kemudian dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{((A + B) - C)}{B} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

A = Bobot wadah (kotak timbang) kosong (g)

B = Bobot sampel (g)

C = Bobot tetap wadah + sampel setelah pemanasan (g)

2.5. Analisis Aktivitas Air dengan Aw Meter

Analisis aktivitas air dilakukan dengan mengacu pada metode yang digunakan oleh [Surahman et al. \(2020\)](#). Pengukuran aktivitas air diawali dengan menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan. Sampel *crackers* dihaluskan menggunakan mortir dan stamper hingga berbentuk serbuk halus. Serbuk sampel dimasukkan ke dalam wadah pengukuran, kemudian wadah ditutup dan ditempatkan di dalam chamber alat Aw meter. Setelah itu, tombol READ ditekan dan hasil pengukuran dibiarkan hingga nilai stabil. Nilai aktivitas air yang ditampilkan pada panel alat dicatat. Setiap sampel diukur sebanyak dua kali untuk memperoleh hasil yang akurat.

2.6. Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan uji statistik *ANOVA One Way* dengan bantuan perangkat lunak SPSS versi 20 untuk mengetahui pengaruh substitusi tepung tempe edamame terhadap kadar air dan aktivitas air *crackers*. Uji *ANOVA One Way* diterapkan apabila data berdistribusi normal dan homogen. Apabila hasil *ANOVA One Way* menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf uji $\alpha \leq 5\%$. Apabila data tidak berdistribusi normal, digunakan uji *Kruskal-Wallis*, dan jika terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$), dilanjutkan dengan uji *Mann-Whitney*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh Substitusi Tepung Tempe Edamame (*Glycine Max* (L.) Merrill) terhadap Kadar Air *Crackers*

Kandungan air dalam bahan pangan memiliki peran krusial dalam menentukan kualitasnya. Oleh karena itu, analisis kadar air dapat dimanfaatkan sebagai metode skrining awal untuk menilai kualitas produk pangan secara efektif ([Nadia et al., 2023](#)). Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi tepung tempe edamame terhadap karakteristik kadar air *crackers*. Rata-rata kadar air *crackers* dapat dilihat pada [Tabel 2](#).

Berdasarkan [Tabel 2](#), kadar air *crackers* berada pada kisaran 6,36–6,80%. Hasil uji statistik *ANOVA One Way* dan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan bahwa substitusi tepung tempe edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) tidak menghasilkan perbedaan rerata

kadar air *crackers* yang signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai $p = 0,232$ ($p > 0,05$), yang menandakan bahwa substitusi tepung tempe edamame tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar air *crackers*. Hasil uji DMRT juga menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki notasi huruf yang sama, sehingga tidak terdapat perbedaan nyata antar perlakuan.

Tabel 2. Rata-rata Kadar Air *Crackers*

Perlakuan	Rata-rata Kadar Air <i>Crackers</i> (%)			
	Ulangan I	Ulangan II	Rata-rata	Nilai P
Substitusi 0%	6,47	6,49	$6,48 \pm 0,13^a$	0,232
Substitusi 5%	6,31	6,42	$6,36 \pm 0,13^a$	
Substitusi 15%	7,28	6,32	$6,80 \pm 0,56^a$	

Keterangan: huruf superskrip yang tidak sama menunjukkan ada beda nyata dengan taraf signifikansi 0,05.

Tidak adanya perbedaan kadar air tersebut menunjukkan bahwa kadar air produk pangan dipengaruhi oleh komposisi bahan, proses pengolahan, dan kondisi penyimpanan, yang menentukan kemampuan bahan dalam mengikat dan mempertahankan air (Amit *et al.*, 2017). Struktur kimia bahan, terutama kandungan protein, karbohidrat, dan serat, menentukan kapasitas ikat air sehingga bahan dengan sifat hidrofilik yang serupa cenderung menghasilkan kadar air yang relatif sama (Xiang *et al.*, 2023).

Rentang kadar air *crackers* pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan standar SNI 2973-2011, yaitu maksimum 5%, sehingga produk belum memenuhi standar mutu yang ditetapkan (BSN, 2011). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *crackers* berbasis tepung komposit memiliki kadar air 3,90–5,45% (Meriles *et al.*, 2022), menegaskan bahwa komposisi bahan dan parameter pemanggangan berperan penting dalam menentukan kadar air akhir produk panggang. Perbedaan kadar air ini mengindikasikan bahwa variasi komposisi bahan, rasio air dalam adonan, serta pengaturan suhu dan durasi pemanggangan dapat menghasilkan kadar air akhir yang berbeda pada *crackers*. Perbaikan mutu produk agar memenuhi standar SNI dapat dilakukan melalui pengendalian kadar air awal adonan serta optimasi suhu dan waktu pemanggangan, karena proses pemanasan berperan penting dalam mempercepat penguapan air dan menurunkan kadar air akhir produk pangan berbasis tepung (Phusampao, 2024). Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perbedaan tingkat substitusi tepung tempe edamame tidak memengaruhi kadar air *crackers*, yang tercermin dari nilai kadar air yang relatif seragam pada seluruh perlakuan. Hal ini menegaskan bahwa tepung tempe memiliki sifat fungsional yang mendukung interaksi dengan air selama pengadonan, sehingga menghasilkan kadar air yang relatif sebanding dengan penggunaan tepung terigu (Puteri *et al.*, 2018).

Tepung terigu memiliki kandungan gluten yang lebih tinggi dibandingkan glutelin pada tepung tempe. Gluten merupakan fraksi protein yang memiliki kemampuan besar dalam menyerap dan mempertahankan air selama pembentukan adonan, sehingga peningkatan kandungan gluten

berkaitan dengan meningkatnya daya serap air (Hidayat *et al.*, 2024). Hal ini sejalan dengan penelitian Kusnandar *et al.* (2022) menyatakan bahwa kadar gluten yang lebih tinggi berbanding lurus dengan meningkatnya *water absorption capacity* (WAC) pada adonan. Namun, pada penelitian ini, pengurangan proporsi tepung terigu melalui substitusi dengan tepung tempe edamame tidak diikuti dengan penurunan kadar air *crackers*. Nilai kadar air yang relatif seragam antarperlakuan dan masih berada di atas batas maksimum yang ditetapkan SNI menunjukkan bahwa selain gluten, terdapat komponen lain dalam sistem adonan yang turut berperan dalam mempertahankan air. Salah satu komponen tersebut berasal dari tepung tempe edamame, yang meskipun tidak mengandung gluten, tetap memiliki kapasitas hidrasi yang baik, sehingga kadar air produk tetap tinggi meskipun proporsi tepung terigu dikurangi.

Stabilitas kadar air tersebut terutama berkaitan dengan perubahan karakteristik protein selama proses fermentasi tempe edamame. Proses fermentasi menyebabkan sebagian protein terdegradasi menjadi peptida berukuran lebih kecil sehingga meningkatkan kelarutan dan jumlah gugus hidrofilik yang berperan dalam penyerapan air (Puteri *et al.*, 2018). Peran fermentasi pada kedelai dan edamame juga berkontribusi terhadap peningkatan sifat hidrofilik bahan, yang selanjutnya meningkatkan kapasitas hidrasi tepung dan membantu mempertahankan air dalam matriks produk (Alrosan *et al.*, 2025). Dengan demikian, proses fermentasi pada tempe edamame memperkuat kapasitas hidrasi tepung, sehingga tetap mampu mempertahankan air meskipun tidak mengandung gluten. Selain karakteristik bahan, kadar air akhir *crackers* juga dipengaruhi oleh kondisi proses pengolahan.

Suhu dan waktu pemanggangan yang diterapkan secara seragam pada seluruh perlakuan berpotensi membatasi penurunan kadar air secara maksimal. Pada produk panggang seperti *crackers*, suhu dan durasi pemanggangan berperan penting dalam menentukan laju penguapan air dari matriks produk. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa kadar air biskuit dipengaruhi secara signifikan oleh suhu dan waktu pemanggangan, di mana penguapan air selama proses pemanggangan menjadi faktor utama yang menentukan kadar air akhir produk (Verma *et al.*, 2024). Oleh karena itu, penerapan kondisi pemanggangan yang sama pada seluruh formulasi dapat menyebabkan kadar air produk akhir relatif seragam, sehingga perbedaan persentase substitusi tepung tempe edamame tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air *crackers*. Selain faktor pemanggangan, terdapat faktor lain yang dapat turut memengaruhi kadar air, seperti karakteristik adonan.

Secara teoretis dan berdasarkan penelitian sebelumnya, kadar air yang relatif tinggi pada produk *crackers* dapat dipengaruhi oleh ketebalan adonan, karena adonan yang lebih tebal cenderung mempertahankan lebih banyak air selama pemanggangan akibat difusi air dari bagian

dalam yang lebih lambat dibandingkan adonan tipis (penelitian pada *optimized cookies* menunjukkan variasi kadar air yang signifikan dengan perubahan ketebalan adonan) (Pc *et al.*, 2025). Selain itu, kadar air awal dalam adonan juga berperan penting dalam menentukan kadar air akhir, di mana rasio air yang lebih tinggi meningkatkan jumlah air bebas sehingga produk panggang cenderung mempertahankan lebih banyak air pada tahap akhir pengolahan (Miranda *et al.*, 2023). Meskipun demikian, penelitian ini belum secara langsung mengukur kapasitas ikat air bahan dan adonan, sehingga pemahaman mengenai mekanisme retensi air pada *crackers* masih bersandar pada karakteristik bahan, interaksi fungsional, dan temuan dari literatur terkait. Parameter lain yang menentukan mutu dan stabilitas *crackers* adalah aktivitas air (aw), yang mencerminkan ketersediaan air bebas dalam produk dan memberikan gambaran lebih komprehensif mengenai karakteristik fisik *crackers*. Karena kadar air memengaruhi jumlah air bebas dalam produk, analisis aktivitas air (aw) menjadi penting untuk menilai stabilitas dan mutu *crackers* secara keseluruhan.

3.2. Pengaruh Substitusi Tepung Tempe Edamame (*Glycine Max* (L.) Merrill) terhadap Aktivitas Air *Crackers*

Aktivitas air (aw) merupakan air bebas yang memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi kimia dalam pangan. Nilai aw berkaitan langsung dengan kadar air karena bahan pangan dapat menyerap atau melepaskan uap air hingga mencapai keseimbangan dengan lingkungannya. Peningkatan kadar air umumnya disertai kenaikan aktivitas air (Astuti *et al.*, 2023). Oleh karena itu, analisis aktivitas air digunakan untuk mengetahui pengaruh substitusi tepung tempe edamame terhadap karakteristik aktivitas air *crackers*. Rata-rata aktivitas air *crackers* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Aktivitas Air *Crackers*

Perlakuan	Rata-rata Aktivitas Air <i>Crackers</i>			
	Ulangan I	Ulangan II	Rata-rata	Nilai P
Substitusi 0%	0,33	0,36	$0,34 \pm 0,01^a$	0,001
Substitusi 5%	0,32	0,33	$0,32 \pm 0,01^a$	
Substitusi 15%	0,42	0,37	$0,40 \pm 0,03^b$	

Keterangan: huruf superskrip yang tidak sama menunjukkan ada beda nyata dengan taraf signifikansi 0,05.

Berdasarkan Tabel 3, aktivitas air *crackers* berkisar antara 0,32–0,40. Hasil uji *ANOVA One Way* menunjukkan nilai $p = 0,001$ ($p < 0,05$), yang menyatakan bahwa substitusi tepung tempe edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) memberikan pengaruh signifikan terhadap aktivitas air *crackers*. Selanjutnya, uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan perbedaan nyata terutama antara perlakuan kontrol (0%) dan substitusi 15%, sehingga peningkatan persentase substitusi tepung tempe edamame hingga 15% meningkatkan nilai aw *crackers* secara signifikan, namun tetap berada dalam kisaran aman untuk kualitas dan stabilitas produk.

Pada produk pangan kering seperti *crackers*, aktivitas air umumnya berkaitan erat dengan kadar air. Peningkatan jumlah air yang tersisa dalam matriks produk akan meningkatkan fraksi air bebas, sehingga nilai aktivitas air juga meningkat (Astuti *et al.*, 2023). Kondisi sejalan dengan penelitian Hidayat *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa aktivitas air pada *crackers* bervariasi mengikuti perubahan kadar air. Namun, pada penelitian ini, hasil uji statistik menunjukkan bahwa kadar air antarperlakuan tidak berbeda signifikan, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas air tidak ditentukan hanya oleh kadar air total, melainkan dipengaruhi oleh distribusi dan ketersediaan air bebas dalam matriks *crackers*. Oleh karena itu, meskipun kadar air total antarperlakuan relatif seragam, perbedaan fraksi air bebas tetap dapat menyebabkan perbedaan nilai aktivitas air yang signifikan.

Perubahan nilai aktivitas air pada *crackers* dengan substitusi tepung tempe edamame menunjukkan pola non-linier, di mana pada tingkat substitusi rendah 5% terjadi penurunan nilai a_w , sedangkan peningkatan substitusi hingga 15% justru menyebabkan peningkatan a_w secara signifikan. Pada perlakuan kontrol (0%) menunjukkan nilai aktivitas air 0,34. Penggunaan tepung terigu 100% memungkinkan pembentukan jaringan gluten yang menahan sebagian air selama pembentukan adonan dan pemanggangan. Gluten memiliki kemampuan mengikat air sehingga pengurangannya akan menurunkan kapasitas adonan dalam mempertahankan air (Permata *et al.*, 2023). Pada substitusi 5%, pengurangan gluten lebih dominan sehingga kapasitas penahanan air menurun dan menyebabkan lebih banyak air menguap selama pemanggangan, yang tercermin pada penurunan nilai aktivitas air menjadi 0,32 (Bojnanska *et al.*, 2021). Sebaliknya, pada tingkat substitusi yang lebih tinggi 15%, peningkatan kandungan protein tempe edamame terfermentasi menjadi faktor dominan dalam mempertahankan air, karena proses fermentasi meningkatkan sifat hidrofilik protein dan kapasitas hidrasi tepung, sehingga kemampuan *crackers* dalam menyerap dan mempertahankan air meningkat dan menghasilkan nilai aktivitas air tertinggi, yaitu 0,40 (Alrosan *et al.*, 2025). Selain itu, faktor proses pemanggangan juga dapat berkontribusi terhadap distribusi air dalam matriks *crackers*, di mana suhu dan waktu pemanggangan memengaruhi sejauh mana air terdistribusi dan menguap selama baking (Saber *et al.*, 2021).

Hasil pengujian aktivitas air pada *crackers* penelitian ini berada dalam kisaran yang dilaporkan oleh studi sebelumnya, penelitian pada *crackers* tapioka menunjukkan a_w antara 0,33–0,53 sebelum terjadi perubahan tekstur drastis, dengan tingkat kerenyahan dan ekspansi optimum pada a_w 0,44–0,52, yang mendekati nilai a_w tertinggi pada substitusi 15% dalam penelitian ini (0,40) (Pakpahan *et al.*, 2017). Studi lain melaporkan bahwa a_w *crackers* sangat rendah segera setelah pemanggangan (0,10–0,15) dan meningkat selama penyimpanan hingga 0,40–0,50 sebelum mencapai kestabilan. Nilai a_w pada rentang 0,3–0,5 masih dianggap aman secara

mikrobiologis untuk *low moisture snacks*, termasuk *crackers* (Yilmaz & Karaman, 2017). Dengan demikian, nilai *aw* kontrol (0,34), substitusi 5% (0,32), dan substitusi 15% (0,40) termasuk dalam kisaran umum yang masih aman dan stabil untuk produk *crackers*. Nilai aktivitas air pada seluruh perlakuan berada dalam rentang yang dilaporkan oleh penelitian sebelumnya dan masih sesuai dengan kisaran *aw* yang umum dilaporkan untuk *crackers* yang stabil dan aman secara mikrobiologis.

Rentang aktivitas air (*aw*) sebesar 0,32–0,40 berada di bawah 0,50. Sarifudin *et al.* (2015) menyatakan bahwa bahan pangan dengan nilai *aw* kurang dari 0,50 tergolong sebagai pangan yang memiliki stabilitas lebih baik selama penyimpanan. Berdasarkan standar ilmiah mengenai *water activity*, produk pangan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori. *Low-moisture foods* (LMFs) memiliki *aw* < 0,85 dan mencakup produk kering seperti *crackers*, biskuit, dan biji-bijian, yang stabil secara mikrobiologis dan memiliki umur simpan lebih panjang, serta umumnya tidak memungkinkan pertumbuhan bakteri patogen utama dan lebih stabil secara mikrobiologis dibandingkan produk berair tinggi (Liu *et al.*, 2022). *Intermediate moisture foods* (IMFs) memiliki *aw* sekitar 0,60–0,90, termasuk produk seperti kurma, plum kering, dan beberapa produk daging olahan, yang stabil tetapi masih memungkinkan pertumbuhan kapang atau yeast tertentu (Dakkumadugula *et al.*, 2023). Sebaliknya, *High-moisture foods* memiliki *aw* mendekati 0,90–1,0 yang memfasilitasi pertumbuhan mikroba dan umumnya memerlukan pengolahan atau penyimpanan khusus (Karuppuchamy *et al.*, 2024). Dengan demikian, *crackers* dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai produk pangan kering dengan potensi daya simpan yang baik karena nilai *aw* jauh di bawah ambang batas pertumbuhan mikroba. Meskipun seluruh perlakuan menunjukkan nilai *aw* di bawah ambang kritis pertumbuhan mikroba, kecenderungan kenaikan *aw* pada substitusi tinggi berpotensi menurunkan kualitas fisik *crackers*, dan memengaruhi stabilitas produk dalam penyimpanan jangka panjang.

Kecenderungan peningkatan nilai aktivitas air sejalan dengan nilai kadar air terlihat pada data di Tabel 2 dan Tabel 3. Pada substitusi 15%, kadar air tercatat tertinggi (6,80%) dan diikuti oleh aktivitas air tertinggi (0,40). Namun, hasil uji statistik menunjukkan bahwa perbedaan kadar air antarperlakuan tidak signifikan, sehingga peningkatan kadar air tersebut dipahami sebagai kecenderungan nilai, bukan perbedaan yang bermakna secara statistik. Meskipun demikian, nilai aktivitas air tetap berbeda signifikan antarperlakuan, yang menunjukkan bahwa aktivitas air dipengaruhi tidak hanya oleh jumlah air total, tetapi juga oleh distribusi dan ketersediaan air bebas dalam matriks *crackers* (Madhumathy, 2021). Hal ini menegaskan bahwa pada perlakuan substitusi 15%, fraksi air bebas lebih tinggi sehingga aktivitas air meningkat, meskipun kadar air

total tidak berbeda nyata, menunjukkan bahwa distribusi air dalam matriks *crackers* dipengaruhi oleh komponen hidrofilik seperti protein tempe edamame.

Kondisi tersebut menggambarkan hubungan berbanding lurus antara kadar air dan aktivitas air, di mana peningkatan kadar air menyebabkan bertambahnya air yang tidak terikat kuat sehingga aktivitas air meningkat. Hubungan ini sesuai dengan prinsip sorpsi air pada bahan pangan yang menyatakan bahwa kadar air dan aktivitas air saling berkaitan melalui ketersediaan air bebas (Gichau *et al.*, 2020). Penelitian lain menegaskan bahwa peningkatan kadar air akan meningkatkan aktivitas air karena lebih banyak air yang dapat bergerak dan mendukung reaksi kimia maupun pertumbuhan mikroorganisme (Yang *et al.*, 2020).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi tepung tempe edamame memberikan pengaruh nyata terhadap aktivitas air *crackers*, dengan perlakuan 15% menghasilkan nilai tertinggi yang berbeda signifikan dibandingkan perlakuan lain. Hal ini menegaskan bahwa komponen hidrofilik tepung tempe edamame berperan dalam mempertahankan lebih banyak air di dalam produk sehingga meningkatkan nilai aktivitas air. Selain faktor bahan, secara teoritis kondisi proses pemanggangan juga diketahui dapat memengaruhi distribusi air dalam matriks *crackers*, di mana suhu dan waktu pemanggangan menentukan sejauh mana air terdistribusi dan menguap selama proses baking (Sabeti *et al.*, 2021). Namun, karena penelitian ini belum mengevaluasi karakteristik isoterm sorpsi air maupun distribusi air terikat dan bebas secara rinci, mekanisme peningkatan aktivitas air dijelaskan berdasarkan pendekatan teoritis dan literatur sebelumnya.

4. Kesimpulan

Hasil studi mengindikasikan bahwa penggantian tepung tempe edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) memberikan dampak yang signifikan terhadap aktivitas air pada *crackers*, namun tidak berpengaruh secara signifikan pada kadar airnya. Penggantian sebesar 15% menghasilkan nilai aktivitas air tertinggi yaitu 0,40 dan berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan 0% dan 5%, sementara kadar air pada semua perlakuan berkisar antara 6,36 hingga 6,80% tanpa perbedaan yang signifikan. Variasi aktivitas air ini dipengaruhi oleh penurunan kandungan gluten dari tepung terigu serta peningkatan komponen hidrofilik pada tepung tempe edamame yang dapat menyimpan air dalam struktur produk. Meskipun kadar air tetap relatif konstan, peningkatan aktivitas air mengindikasikan adanya perubahan dalam ketersediaan air bebas pada produk. Oleh karena itu, penggantian tepung tempe edamame hingga 15% berkontribusi dalam meningkatkan aktivitas air pada *crackers* tanpa memberikan perubahan signifikan pada kadar air, yang dapat memengaruhi stabilitas kualitas dan daya simpan produk. Namun, kadar air produk yang dihasilkan masih lebih tinggi dibanding batas maksimum yang disarankan ($\leq 5\%$), sehingga optimasi proses

pemangangan, termasuk penyesuaian suhu dan waktu, perlu dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan stabilitas produk yang lebih optimal

Singkatan yang Digunakan

UMKM	Usaha, Mikro, Kecil. dan Menengah
RAL	Rancangan Acak Lengkap
SIG	Saraswanti Indo Genetech
AW	<i>Activity of Water</i>
L	Liter
kg	kilogram
g	gram
°C	Derajat Celcius (Satuan Suhu)
cm	centimeter
mm	milimeter
mg	miligram
A	Bobot wadah (kotak timbang) kosong (gram)
B	Bobot sampel (gram)
C	Bobot tetap wadah + sampel setelah pemanasan (gram)
%	Persen (untuk menunjukkan nilai persentase dalam hasil dan penambahan substitusi tepung tempe edamame)
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
Nilai P	<i>Nilai Probability Value</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
WAC	<i>Water Absorption Capacity</i>
DMRT	<i>Duncan Multiple Range Test</i>

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Chintya Ardana Febri Lestari: persiapan, sumber daya, kurasi data, investigasi, penulis draft artikel. **Aan Sofyan:** konseptualisasi, metodologi, supervisi, kurasi data, pengawasan, penyuntingan.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis naskah ini menyatakan tidak ada konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dan mendukung pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

Alrosan, M., Al-Massad, M., Obeidat, H. J., Maghaydah, S., Alu'datt, M. H., Tan, T. C., ..., & Almajwal, A. M. (2025). Fermentation - induced modifications to the structural , surface , and functional properties of quinoa proteins. *Food Science and Biotechnology*, 34(14), 3317–3329. <https://doi.org/10.1007/s10068-025-01930-y>

- Amit, S. K., Uddin, M., Rahman, R., Islam, S. M. R., & Khan, M. S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0130-8>
- Astuti, N. B., Raya, M. K., & Rahayu, E. S. (2023). Pengaruh suhu dan tempat penyimpanan terhadap kadar air dan mutu organoleptik biskuit substitusi tepung belut (*Monopterus albus* zuiewu). *AcTion: Aceh Nutrition Journal*, 8(1), 81– 89. <https://doi.org/10.30867/action.v8i1.811>
- Batista, A. P., Niccolai, A., Bursic, I., Sousa, I., Raymundo, A., Rodolfi, L., Biondi, N., & Tredici, M. R. (2019). Microalgae as Functional Ingredients in Savory Food Products: Application to Wheat Crackers. *Foods*, 8(12), 1–22. <https://doi.org/10.3390/foods8120611>
- Bojnanska, T., Musilova, J., & Vollmannova, A. (2021). Effects of Adding Legume Flours on the Rheological and Breadmaking Properties of Dough. *Foods*, 10(5), 1–22. <https://doi.org/10.3390/foods10051087> <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/5/1087>
- BSN. (2011). *Standar Nasional Indonesia SNI 2973:2011 – Biskuit*. <https://id.scribd.com/doc/179595641/BISKUIT-SNI-2011-pdf>
- Dakkumadugula, A., Pankaj, L., Alqahtani, A. S., Ullah, R., Ercisli, S., & Murugan, R. (2023). The Biochemical Changes Caused in Astronauts Health Due to Space Flight : A Review. *Food Chemistry: X*, 20(July), 100875. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100875>
- Delviani, Y., Lestari, S., Lestari, S. D., & Ridhowati, S. (2021). Kajian Mutu dan Daya Simpan Dendeng Udang Putih (*Penaeus merguensis*) Selama Pengemasan dan Penyimpanan Suhu Ruang. *Agrointek; Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 15(2), 608–616. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v15i2.9690>
- Dewi, L., Paramastuti, R., & Rizkaprilisa, W. (2024). Tempe “ Super Food ” Untuk Kalangan Anak -Anak Tk Di Salatiga dan Semarang. *Community Development Journal*, 5(3), 5419–5426. <https://doi.org/10.31004/cdj.v5i3.27136> <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/cdj/article/view/27136/20407>
- Djanta, M. K. A., Agoyi, E. E., Agbahounga, S., Quenum, F. J. B., Chadare, F. J., Chadare, ..., & Sinsin, B. (2020). Vegetable soybean, edamame: Research, production, utilization and analysis of its adoption in Sub-Saharan Africa. *Journal of Horticulture and Forestry*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.5897/jhf2019.0604> <https://academicjournals.org/journal/JHF/article-full-text-pdf/5CE1F8062588>
- Fadhilah, Dhafir, F., & Masrianih. (2018). Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kandungan Protein Olahan Tempe Biji Kamonji (*Artocarpus camansi*) dan Pemanfaatannya sebagai Media Pembelajaran. *Journal of Biology Science and Education*, 6(2), 370–374. <https://doi.org/10.22487/jbse.v6i2.1062> <https://jurnalikipuntad.com/index.php/ejipbiol/article/view/1062>
- Gichau, A. W., Okoth, J. K., & Makokha, A. (2020). Moisture sorption isotherm and shelf life prediction of complementary food based on amaranth – sorghum grains. *Journal of Food Science and Technology*, 57(3), 962–970. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04129-2>
- Hidayat, R. N., Nurwati, & Purwanti, Y. (2024). Formulasi Tepung Tempe Dan Tepung Terigu Terhadap Daya Kembang Dan Karakteristik Organoleptik Pada Fudgy Brownies. *Journal of Technology and Food Processing (JTFP)*, 4(02), 30 – 38. <https://doi.org/10.46772/jtftp.v4i02.1517> <https://jurnal.umus.ac.id/index.php/jtftp/article/view/1517>
- Hulu, A. (2023). Studi Inovasi Strategi Kebijakan Percepatan Pencapaian Swasembada Kedelai Indonesia Tahun 2035. *Matra Pembaruan*, 7(1), 13 – 23. <https://doi.org/10.21787/mp.7.1.2023.13-23>
- Karuppuchamy, V., Heldman, D. R., & Snyder, A. B. (2024). A Review of Food Safety In Low-Moisture Foods with Current and Potential Dry-Cleaning Methods. *Journal of Food Science*, 89(2), 793–810. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16920>
- Kusnandar, F., Danniswara, H., & Sutriyono, A. (2022). Pengaruh Komposisi Kimia dan Sifat

- Reologi Tepung Terigu terhadap Mutu Roti Manis. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 9(2), 67–75. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2022.9.2.67>
- Liu, S., Roopesh, M. S., Tang, J., Wu, Q., & Qin, W. (2022). Recent Development in Low-Moisture Foods : Microbial Safety and Thermal Process. *Food Research International*, 155(111072), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111072>
- Madhumathy, S. (2021). Water Activity and its Impacts on Food Stability. *Ijfans International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 10(12), 832–851. <https://www.ijfans.org/issue-content/water-activity-and-its-impacts-on-food-stability-11094>
- Meriles, S. P., Piloni, R., C, G. V., Pencic, C., Mart, M. L., Mar, A., & Ribotta, P. (2022). Original Article Compositional Characteristics, Texture ,Shelf-Life and Sensory Quality of Snack Crackers Produced From Non-Traditional Ingredients. *International Journal of Food Science*, 57(8), 4689–4696. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15303>
- Miranda, R. M., Lobo, M. O., & Samm, N. C. (2023). Effect of Hydration on the Technological Properties of Andean Maize Native Whole-Grain Flour Dough and Bread †. *Biology and Life Sciences Forum*, 25(5), 1-6. <https://doi.org/10.3390/blsf2023025005>
- Nadia, L. S., Lejap, T. Y. T., & Rahmanto, L. (2023). Pengaruh Pengolahan Pangan terhadap Kadar air Bahan Pangan. *Journal of Innovative Food Technology and Agricultural Product*, 01(01), 5–8. <https://doi.org/10.31316/jitap.vi.5780>
- Nalawati, A. N., Wardhana, D. I., Rita, A. I., & Triyudhani, I. L. (2024). Karakteristik Sifat Kimia Crackers Ikan Tongkol Dengan Variasi Penambahan Tepung Ikan Tongkol (*Euthynnus affinis*). *Journal of Food Industrial Technology*, 1(2), 52 – 58. <https://doi.org/10.25047/jofit.v1i2.4914>.
<https://publikasi.polije.ac.id/jofit/article/view/4914>
- Pakpahan, N., Kusnandar, F., & Syamsir, E. (2017). Perilaku Isoterm Sorpsi Air dan Perubahan Fisik Kerupuk Tapioka Pada Suhu Penyimpanan Yang Berbeda. *J. Teknol. dan Industri Pangan*, 28(2), 91–101. <https://doi.org/10.6066/jtip.2017.28.2.91>
- Pavlovic, N., Dolijanovic, Z., Simic, M., Kaitovic, Z., Dragicevic, V., & B. M. (2024). Edamame-Vegetable Crop of The Future: Production Challenges and Chemical Profile. *Agriculture & Forestry*, 70(3), 141–162. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.3.10>
- Pc, I., Ho, A., Tm, I., Cn, I., & Ln, E. (2025). Effect of Dough Thickness and Baking Temperatures on The Proximate Composition of Optimized Cookies From Wheat-White Yam Flour Using Response Surface Methodology. *Applied Food Research*, 5(2), 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101134>
- Permata, M. I., Pramono, Y. B., & Nurwantoro. (2023). Pengaruh Substitusi Tepung Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas*) terhadap Sifat Kimia, Fisika, dan Hedonik Bagelen. *Jurnal Teknologi Pangan*, 7(2), 48–55. <https://doi.org/10.14710/jtp.2023.34080>
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/tekpangan/article/view/34080/31573>
- Phusampao, C. (2024). Moisture Sorption Isotherms and Thin-Layer Drying of Rice Crackers. *Life Sciences and Environment Journal*, 25(2), 292–303. <https://share.google/MYXjI0s5AZGBWqlqf>
- Puteri, N. E., Astawan, M., Palupi, N. S., Wresdiyati, T., & Takagi, Y. (2018). Characterization of biochemical and functional properties of water-soluble tempe flour. *Food Science and Technology*, 38(1), 147–153. <https://doi.org/10.1590/fst.13017>
<https://www.scielo.br/j/cta/a/RGZtHVzGSddDQw6Qz6JGZHh/?lang=en>
- Raharjo, D. S., Bhujra, P., & Amalo, D. (2019). The Effect Of Fermentation On Protein Content And Fat Content Of Tempeh Gude (*Cajanus cajan*). *Jurnal Biotropikal Sains*, 16(3), 55–63. <https://share.google/L4YaPmRp7xv8XVZhg>
- Rahman, R., Tobing, O. L., & Setyono, S. (2019). Optimalisasi Pertumbuhan Dan Hasil Edamame (*Glycine max L. Merril*) Melalui Pemberian Pupuk Nitrogen Dan Ekstrak Tauge Kacang Hijau. *Jurnal Agronida*, 5(2), 90–99. <https://doi.org/10.30997/jag.v5i2.2316>
- Saberi, F., Kouhsari, F., Abbasi, S., Rosell, C. M., & Amini, M. (2021). Effect of Baking in Different

- Ovens on The Quality and Structural Characteristics of Saline Crackers. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 6559–6571. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15372>
- Saktiono, S. S., Kusumaningrum, S. B. C., Susilaningrum, D. F., Widiyastuti, P. A., Lestari, W., Arifa, S. U., ..., & Oktaviani, R. P. I. R. (2023). Analisis Vitamin C, Sifat Fisik, Dan Sifat Organoleptik Tempe Berbahan Dasar Kedelai Kuning (*Glycine Max L*), Kedelai Hijau (Edamame) (*Glycin Max (L) Merrill*), Kedelai Hitam (*Glycine soja (L) Merrit*). *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 22(2), 113 - 121. <https://doi.org/10.33508/jtpg.v22i2.4753>
<https://journal.ukwms.ac.id/index.php/JTPG/article/view/4753>
- Sarifudin, A., Eka fitri, R., Surahman, D.K., & Putri, S. K. D. F. A. (2015). Pengaruh Penambahan Telur Pada Kandungan Proksimat, Karakteristik Aktivitas Air Bebas (aw) Dan Tekstural Snack Bar Berbasis Pisang (*Musa paradisiaca*). *AGRITECH*, 35(1), 1–8. <https://doi.org/10.22146/agritech.9413>
<https://www.neliti.com/id/publications/195844/pengaruh-penambahan-telur-pada-kandungan-proksimat-karakteristik-aktivitas-air-b>
- Seftiono, H., Djiuardi, E., & Pricila, S. (2019). Analisis Proksimat dan Total Serat Pangan pada Crackers Fortifikasi Tepung Tempe dan Koleseom (*Talinumtiangulare*). *AgriTECH*, 39(2), 160–168. <https://doi.org/10.22146/agritech.29726>
<https://journal.ugm.ac.id/agritech/article/view/29726/25472>
- Selawati, F., Quddus, A. A., & Mardiana. (2024). Karakteristik Kimia dan Organoleptik Crackers Dengan Substitusi Tepung Beras Merah dan Tepung Tempe. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 14(2), 63–69. <https://doi.org/10.26714/jpg.14.2.2024.63-69>
<https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JPDG/article/view/16154>
- Soverda, N., Jasminarni, J., Swari, E. I., & Sihombing, P. (2023). Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai Pada Pemberian Beberapa Konsentrasi Eko Enzim. *Jurnal Media Pertanian*, 8(2), 169–176. <https://doi.org/10.33087/jagro.v8i2.217>
- Sudirman, J., Saleng, H., Supardi, N., & Kusniyanto, R. E. (2023). Hubungan Asupan Makanan (Protein) Terhadap Kejadian Stunting Pada Balita. *Jurnal Kesehatan Hesti Wira Sakti*, 11(01), 34–40. <https://doi.org/10.47794/JKHWS.V11I01.471>
https://www.academia.edu/105371098/Hubungan_Asupan_Makanan_Protein_Terhadap_Kejadian_Stunting_Pada_Balita
- Suknia, S. L., & Rahmani, T. P. D. (2020). Proses Pembuatan Tempe Home Industry Berbahan Dasar Kedelai (*Glycine max (L.) Merr*) dan Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris L.*) di Candiwesi, Salatiga. *Southeast Asian Journal of Islamic Education*, 3(1), 59–76. <https://doi.org/10.21093/sajie.v3i1.2780>
- Sularno, Sudirman, Putri, D., & Wulandari, Y. A. (2022). Respon Pertumbuhan Dan Produksi Kedelai Edamame Terhadap Pemberian Limbah Las Karbit. *Jurnal Agrosains Dan Teknologi*, 7(2), 109–113. <https://doi.org/10.24853/jat.7.2.109-114>
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/ftan/article/view/14974>
- Surahman, D. N., Ekafitri, R., Desnilasari, D., Ratnawati, L., Miranda, J., Cahyadi, W., & Indriati, A. (2020). Pendugaan Umur Simpan Snack Bar Pisang dengan Metode Arrhenius pada Suhu Penyimpanan yang Berbeda. *Biopropal Industri*, 11(2), 127–137. <https://doi.org/10.36974/jbi.v11i2.5898> <https://share.google/zDjcM5IL8WwVOjCj1>
- Valen, Q. C. (2023). Variasi Tempe Non-Kedelai: Alternatif Pengganti Tempe Kedelai. *Zigma*, 38(2), 105–119. <https://journal.ukwms.ac.id/index.php/zigma/article/view/5188>
- Verma, V., Singh, Z., & Yadav, N. (2024). Effect of Baking Time-temperature Combination on the Formation of Processing Toxicants and Physicochemical Properties of Biscuit. *Journal of Food and Agriculture Research*, 4(2), 113–130. <https://share.google/fSSyR00QirM2n5kmX>
- Wibowo, N. I., & Akbar, A. A. (2023). Analisis Kandungan Protein dan Daya Terima Putri Salju Substitusi Tepung Edamame (*Glycine max (L) Merrill*). *Jurnal Kesehatan*, 6(4), 430–442. <https://doi.org/10.33096/woh.vi.1104> <http://103.133.36.92/index.php/woh/article/view/1104>

- Widyahapsari, D.A.N., & Setyawati, S.(2024). Formulasi serta Karakterisasi Sifat Fisik dan Kimia Mi Kering Tersubstitusi Tepung Biji Alpukat dan Tepung Tempe. *Warta Akab*, 48(1), 46–52. http://jurnal.aka.ac.id/index.php/warta_akab/article/view/237
- Xiang, G., Li, J., Lin, Q., Zhang, Y., Ding, Y., Guo, X., ..., & Fang, Y. (2023). The effect of heat-moisture treatment changed the binding of starch , protein and lipid in rice flour to affect its hierarchical structure and physicochemical properties. *Food Chemistry: X*, 19(30), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100785>
- Yang, R., Guan, J., Sun, S., Sablani, S. S., & Tang, J. (2020). Understanding water activity change in oil with temperature. *Current Research in Food Science*, 3, 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.04.001>
- Yilmaz, E., & Karaman, E. (2017). Functional Crackers: Incorporation of the Dietary Fibers Extracted from Citrus Seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3208–3217. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2763-9>
- Zaki, M., Gazali, A., & Sofyan, A. (2024). Pengaruh Biourine Dan Trichoderma Sp. Terhadap (Glycine max (L .) Merr). *PIPER*, 20(1), 29 - 38. <https://doi.org/10.51826/piper.v20i1.1116>
<https://jurnal.unka.ac.id/index.php/piper/article/view/1116>