

PENGARUH *ULTRA HIGH PRESSURE HOMOGENIZATION* TERHADAP KARAKTERISTIK MIKROORGANISME DAN SIFAT FISIKOKIMIA SUSU NABATI

THE EFFECT OF THE ULTRA HIGH-PRESSURE HOMOGENIZATION ON MICROBIAL CHARACTERISTICS AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES PLANT-BASED MILK

Nathaniela Easter Serullo¹, Maria Matoetina Suprijono²

¹Mahasiswa Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

²Dosen Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
foodtech.nathaniela.21@ukwms.ac.id

Abstrak

Susu nabati merupakan produk sari minuman hasil ekstraksi bahan pangan nabati, seperti sereal, kacang-kacangan, dan umbi-umbian. Aplikasi *Ultra High Pressure Homogenization* dalam pengolahan susu nabati dapat mempengaruhi karakteristik mikroorganisme dan sifat fisikokimianya. UHPH merupakan proses non-termal dapat mencegah kerusakan sensoris pada susu nabati yang diakibatkan oleh proses termal dengan mekanisme melewati produk melewati celah katup homogenisasi dengan tekanan tinggi sehingga terjadi kavitasi, turbulensi, dan *shear stress*. Proses UHPH dengan tekanan 300 MPa dapat mereduksi bakteri berspora hingga 3,55 log CFU/mL dan mikroorganisme lainnya di atas 2,58 log CFU/mL. Kombinasi tekanan dengan suhu inlet yang semakin tinggi dalam UHPH dapat meningkatkan jumlah reduksi mikroba. Proses UHPH dapat memperkecil dan menyeragamkan ukuran partikel hingga 152,42 μm bergantung pada komponen kimiawi tiap susu nabati. Tekanan di atas 200 MPa dapat menyebabkan protein sebagai emulsifier terdenaturasi dan globula-globula lemak saling bertubrukan membentuk partikel besar dengan distribusi ukuran partikel bimodal atau polidispersi.

Kata kunci: Susu nabati, *Ultra High Pressure Homogenization*, mikroorganisme, ukuran partikel.

Abstract

Plant-based milk is a beverage derived from plant-based elements such as grains, almonds, and tubers. The use of Ultra High Pressure Homogenization in plant-based milk processing influences microorganism characteristics and physicochemical properties. UHPH is a non-thermal technique that may prevent sensory damage to plant-based milk produced by a thermal process in which the product is forced through a homogenization valve gap at high pressure, causing cavitation, turbulence, and shear stress. Using a pressure of 300 MPa, the UHPH method may reduce spore-forming bacteria up to 3,55 log CFU/mL and other microorganisms above 2,58 log CFU/mL. In UHPH, combining high pressure with a higher inlet temperature may boost the amount of microbial reduction. Depending on the chemical components of each plant-based milk, the UHPH process may reduce and equalize particle size to 152,42 μm . Pressures above 200 MPa may lead to protein denaturation and loss of its ability as an emulsifier. Fat globules start to collide and create large particles that exhibit a bimodal or polydisperse particle size distribution.

Keywords: *Plant-based milk, Ultra High-Pressure Homogenization, Microorganism, Particle size*

PENDAHULUAN

Susu berbasis bahan pangan nabati sedang marak di masyarakat Indonesia saat ini. Menurut Probo (2016), beberapa tahun belakangan ini gaya hidup *vegan* menjadi salah satu gaya hidup dengan menggantikan susu hewani dengan susu nabati, seperti susu almond, susu kedelai, susu *oat*, dan lainnya.

Sejalan yang dikemukakan oleh Syahputra (2023), bahwa susu nabati sering digunakan dalam pembuatan kopi kekinian karena rendah kalori, protein, karbohidrat, dan lemak sehingga cocok untuk masyarakat yang sedang mengikuti program *diet* tetapi tetap mengonsumsi minuman kekinian. Kandungan

asam lemak jenuh yang lebih besar pada susu hewani dibandingkan susu nabati menjadi salah satu alasan lain masyarakat untuk mengurangi konsumsi susu hewani, karena asam lemak jenuh menjadi salah satu penyebab hiperkolesterolemia yang meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular (Vissers et al., 2019; Moore et al., 2023).

Minuman susu nabati juga cocok untuk penderita *lactose intolerance* dan alergi susu sapi. *Lactose intolerance* terjadi akibat tubuh tidak mampu memetabolisme laktosa karena tidak adanya atau rendahnya enzim laktase dalam tubuh, sehingga dapat menimbulkan gejala, seperti perut kembung, mual, dan lain-lain (Suri et al., 2019; Dewiasty et al., 2021). Laktosa terdapat pada produk susu hewani tetapi tidak ada pada susu berbasis bahan pangan nabati dapat menggantikan susu hewani meskipun dari sisi gizi tidak dapat menggantikan kualitas gizi susu hewani (Gul et al., 2018).

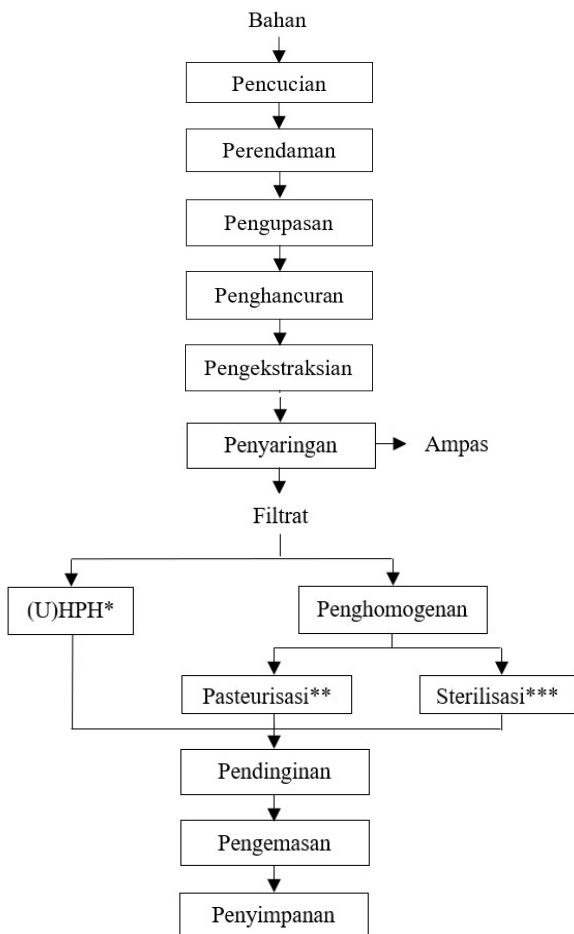
Proses pengolahan susu nabati umumnya menggunakan pemanasan untuk menginaktivasi pertumbuhan mikroba, seperti pasteurisasi dan sterilisasi. Penggunaan sterilisasi bertujuan menghilangkan semua jenis mikroba, namun dapat merusak kandungan gizi yang dibutuhkan dalam produk. Produk susu yang dipasteurisasi menyebabkan hilangnya karakteristik sensoris yang diinginkan (Linhares et al., 2020; Elhasan et al., 2022). Metode *pulsed electric fields* dapat mereduksi pertumbuhan *Enterobacter aerogenes* maksimal 1,1 log tetapi sensitivitas terhadap spora bakteri *Bacillus* sp. sangat rendah (Codina-Torrella et al., 2017; Wu & Chang, 2021). Metode ultrasonifikasi dapat digunakan untuk inaktivasi mikroorganisme, namun metode ini kurang bisa membunuh mikroba pembusuk dan patogen sehingga metode ini jarang digunakan dalam industri pangan (Carrillo-Lopez et al., 2020; Scudino et al., 2020). Adanya teknologi *High Pressure Homogenization* (HPH) yang berawal mula

dari ciptaan Auguste Gaulin pada tahun 1899 dan terus mengalami perkembangan dapat dijadikan alternatif untuk menggantikan metode sebelumnya (Gaulin, 1904; Codina-Torrella et al., 2017; Vasquez-Rojas et al., 2023). Proses *High Pressure Homogenization* (HPH) adalah salah satu proses tanpa pemanasan yang dapat diterapkan dalam industri pengolahan susu berbahan dasar pangan nabati. Penggunaan HPH dalam pembuatan susu berbahan dasar nabati berpeluang mempengaruhi karakteristik mikroba dan sifat fisikokimia, seperti ukuran partikel yang akan dikaji lebih dalam pada makalah ini (D'Alessio et al., 2023; Vasquez-Rojas et al., 2023).

SUSU NABATI

Definisi

Susu nabati merupakan sari yang diperoleh dari hasil ekstraksi bahan pangan nabati (Manzoor et al., 2021; Vasquez-Rojas et al., 2021). Susu nabati termasuk dalam sistem koloid yang terdiri dari air sebagai pendispersi dan fase partikel terlarut sebagai fase terdispersi (Nawaz et al., 2022). Partikel terlarut terdiri dari fraksi protein, karbohidrat, lipid, dan padatan terlarut lainnya (Sartori et al., 2020). Bahan pangan nabati yang umumnya digunakan untuk pembuatan susu nabati seperti, sereal, kacang-kacangan, dan umbi-umbian. Proses pengolahan susu nabati dapat dilihat pada Gambar 1. Salah satu susu nabati yang paling populer di kalangan masyarakat adalah susu kedelai yang memiliki gizi baik untuk memenuhi kebutuhan. Menurut Walther et al. (2022), susu kedelai memiliki jumlah protein yang hampir setara dengan susu sapi, namun memiliki kualitas gizi yang rendah. Penilaian dari segi gizi susu berbasis bahan pangan nabati juga tidak dapat disetarakan dengan susu sapi yang memiliki gizi lebih baik.



Gambar 1. Diagram alir produksi susu nabati dengan UHPH, pasteurisasi, dan sterilisasi.

Sumber: * Wang et al., (2018); Vasquez-Rojas et al. (2021); Vasquez-Rojas et al., (2023)

** Codina-Torrella et al. (2023)

*** Silva et al. (2023)

Salah satu susu nabati yaitu susu kedelai yang beredar di tengah masyarakat harus memenuhi syarat mutu yang ada. Menurut Badan Standardisasi Nasional (1995), syarat mutu susu kedelai yang diterapkan untuk memperoleh produk yang baik dan layak dikonsumsi dapat dilihat pada Tabel 1.

Susu nabati adalah hasil olahan bahan pangan nabati yang dijadikan dalam bentuk minuman. Penyebutan atau penamaan ‘susu’ nabati sendiri bukan merupakan hal yang tepat. Menurut International Dairy Federation (2020), susu merupakan hasil sekresi cairan normal dari hewan penghasil susu, yang diperoleh dari satu atau lebih pemerahan, tanpa penambahan atau pengurangan apapun, dan untuk dikonsumsi sebagai susu cair atau

memasuki proses lebih lanjut. Sejalan dengan yang dikemukakan oleh Badan Standardisasi Nasional (2011) dalam SNI (01-3141-2011), bahwa susu adalah cairan yang berasal dari ambung sapi sehat dan bersih, yang diperoleh dengan cara pemerahan yang benar, yang kandungan alaminya tidak dikurangi atau ditambah sesuatu apapun. Istilah susu nabati yang tidak sesuai definisi tersebut seringkali dapat menyesatkan konsumen dalam mengartikan representasi produk, namun istilah susu nabati sudah digunakan oleh banyak orang kemungkinan karena penampilannya yang secara fisik cukup mirip dengan susu hewani.

Tabel 1. Syarat mutu susu kedelai

Kriteria Uji	Satuan	Persyaratan	
		Susu (milk)	Minuman (drink)
Keadaan:	-		Normal
Bau	-	Normal	Normal
Rasa	-	Normal	Normal
Warna	-	Normal	Normal
pH	-	6,5-7,0	6,5-7,0
Protein	% b/b	Min. 2,0	Min. 1,0
Lemak	% b/b	Min. 1,0	Min. 0,3
Padatan jumlah	% b/b	Min. 11,5	Min. 11,5
Cemaran logam			
Timbal (Pb)	Mg/kg	Maks. 0,2	Maks. 0,2
Tembaga (Cu)	Mg/kg	Maks. 2,0	Maks. 2,0
Seng (Zn)	Mg/kg	Maks. 5,0	Maks. 5,0
Timah (Sn)	Mg/kg	Maks. 40/250	Maks. 40/250
Merkuri (Hg)	Mg/kg	Maks. 0,03	Maks. 0,03
Cemaran arsen (As)	Mg/kg	Maks. 0,1	Maks. 0,1
Cemaran mikroba			
Angka Lempeng Total	Koloni/mL	Maks. 2x10 ²	Maks. 2x10 ²
Bakteri Bentuk Koli	APM/mL	Maks. 20	Maks. 20
<i>Eschericia coli</i>	APM/mL	Maks. 3	Maks. 3
<i>Salmonella</i>	-	Negatif	Negatif
<i>Staphylococcus aureus</i>	Koloni/mL	0	0
<i>Vibrio sp.</i>	-	Negatif	Negatif
Kapang	Koloni/mL	Maks. 50	Maks. 50

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (1995)

Mikroorganisme dalam Susu Nabati

Mikroorganisme dalam pangan terbagi menjadi dua yaitu mikroba yang menguntungkan dan mikroba yang merugikan. Mikroba yang merugikan dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu mikroba pembusuk dan mikroba patogen. Mikroba patogen adalah mikroba yang dapat menyebabkan *foodborne disease* atau keracunan/penyakit pada manusia (Shakeel et al., 2022). Mikroba patogen memiliki faktor virulen yang lebih banyak, sehingga dapat menyebabkan keracunan/penyakit tanpa merusak makanan. Faktor tersebut membuat mikroba patogen sulit diidentifikasi secara fisik dan perlu dilakukan metode yang baik yang dapat mereduksi mikroba patogen pada produk agar aman dikonsumsi (Madani et al., 2022; Zigo et al., 2022).

Bakteri patogen yang umumnya mencemari susu nabati adalah bakteri dari genus *Bacillus*, bakteri golongan *micrococcus* (*Staphylococcus aureus*) dan bakteri gram negatif, seperti *Salmonella* sp. dan *Escherichia coli* (Codina-Torrella et al., 2017). Karakteristik tiap bakteri terhadap ketahanannya akan suhu dan tekanan selama proses berbeda-beda. Bakteri genus *Bacillus* merupakan bakteri gram positif, berbentuk batang, dan dapat membentuk spora. Umumnya, bakteri *Bacillus* sp. merupakan bakteri mesofilik yang memiliki suhu optimum pertumbuhan pada 37°C dan sumber cemarannya dapat berasal dari tanah. Pada saat kondisi lingkungan pertumbuhan tidak sesuai, bakteri membentuk endospora, proses ini dinamakan sporulasi. Endospora memiliki ketahanan terhadap panas, pH ekstrim, radiasi, dan bersifat toksin. Apabila kondisi lingkungan sudah optimum kembali, akan terjadi proses germinasi yaitu spora menjadi sel vegetatif yang mampu berkembang biak membentuk sel bakteri tunggal yang baru (Reineke et al., 2013). Spora bakteri genus *Bacillus* yang resisten terhadap kondisi ekstrim karena

memiliki dinding sel yang tebal, rapat, dan kedap air. Menurut Espejo et al. (2014), untuk membunuh spora bakteri *Bacillus* yang paling tahan terhadap panas membutuhkan suhu 140°C selama 3,4-7,9 detik. Penggunaan metode UHT untuk membunuh spora bakteri tersebut tidak dianjurkan karena pada suhu pasteurisasi, spora dapat bertahan dan melakukan germinasi.

Salmonella sp. dan *E.coli* merupakan bakteri gram negatif dan mesofilik yang pencemarannya dapat bersumber dari air tercemar. Kedua bakteri tersebut merupakan bakteri yang sensitif terhadap panas. Menurut Michael et al. (2023), penggunaan suhu 75-80°C dapat membunuh bakteri patogen, seperti *Salmonella* dan *E.coli* O121 pada tepung gandum. Tipe *foodborne disease* yang disebabkan oleh *Salmonella* sp. dan *E.coli* adalah tipe infeksi yaitu bakteri patogen tertelan dalam keadaan hidup dan menghasilkan toksin dalam usus (Bhunja, 2018). Kapang yang umumnya ada pada bahan pangan nabati terutama pada sereal dan kacang-kacangan adalah *Aspergillus* sp. yang dapat menghasilkan mikotoksin yaitu aflatoksin. Aflatoksin memiliki sifat stabil terhadap panas dan karsinogenik. Spesies kapang yang menghasilkan aflatoksin adalah *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus parasiticus* (Abdelmotilib et al., 2018). Tipe *foodborne disease* yang disebabkan oleh mikotoksin adalah intoksikasi yaitu toksin yang dihasilkan mikroba tertelan dan memberikan gejala/penyakit pada tubuh (Bhunja, 2018).

ULTRA HIGH PRESSURE HOMOGENIZATION (UHPH)

Definisi dan Prinsip

Homogenisasi adalah proses yang umumnya digunakan dalam industri untuk memperkecil dan menyeragamkan ukuran partikel dalam produk, sehingga diperoleh hasil produk yang stabil selama penyimpanan. Munculnya metode *Ultra high pressure*

homogenization bertujuan ingin menggabungkan dua proses secara bersamaan yaitu homogenisasi dan sanitasi secara kontinyu (Wang et al., 2018; Liu et al., 2022; Moisés et al., 2022).

Ultra high pressure homogenization (UHPH) merupakan salah satu inovasi yang digunakan dalam pengolahan bahan pangan. Metode UHPH dapat didasarkan pada penggunaan tekanan tinggi untuk suatu produk yang akan dilewatkan melalui celah katup homogenisasi yang memberikan efek tersebarnya tegangan geser (*shear stress*), kavitasi, dan turbulensi sehingga dapat terjadinya perubahan struktur atau disrupsi mekanik pada produk tersebut (D'Alessio et al., 2023; Vasquez-Rojas et al., 2023). UHPH merupakan inovasi yang dapat digunakan untuk menstabilkan produk emulsi dengan memecah struktur globula, memperkecil ukuran partikel, meningkatkan availibilitas komponen gizi, dan menginaktivasi mikroba patogen dan mikroba pembusuk yang menyebabkan kerusakan pada produk (Wang et al., 2018; Liu et al., 2022; Moisés et al., 2022).

Tekanan yang digunakan dalam metode UHPH biasanya ada pada kisaran 100-400 MPa. Penggunaan tekanan 100-200 MPa dapat digolongkan dalam *high pressure homogenization*, sedangkan untuk tekanan 200-400 MPa dapat digolongkan dalam *ultra high pressure homogenization* (Valencia-Flores et al., 2013; Sidhu & Singh, 2016). Peningkatan kemampuan metode UHPH dalam menghomogenkan dan perlakuan sanitasi dapat didasarkan pada kombinasi suhu dan tekanan yang digunakan (Paz et al., 2014; Vasquez-Rojas et al., 2023).

Aplikasi UHPH dalam industri memiliki kelebihan yaitu diterapkan secara kontinyu. Proses produksi yang dilakukan secara kontinyu adalah suatu metode produksi yang berlangsung secara terus menerus tanpa berhenti atau berkesinambungan sehingga cocok diterapkan pada industri dengan skala

produksi besar (Du et al., 2023). Penerapan metode UHPH pada industri di Indonesia jarang ditemukan, karena penggunaannya yang cukup memakan biaya. Menurut Kruszewski et al. (2023) dalam Wu et al. (2023), UHPH hanya dapat diaplikasikan pada produk yang berwujud cair atau semicair. Umumnya, UHPH banyak digunakan dalam produk jus dan susu, namun UHPH juga dapat digunakan untuk produk emulsi, seperti mayonais. Selain dalam industri pangan, UHPH juga dapat digunakan dalam bidang industri lainnya, seperti farmasi, kosmetik, dan bioteknologi.

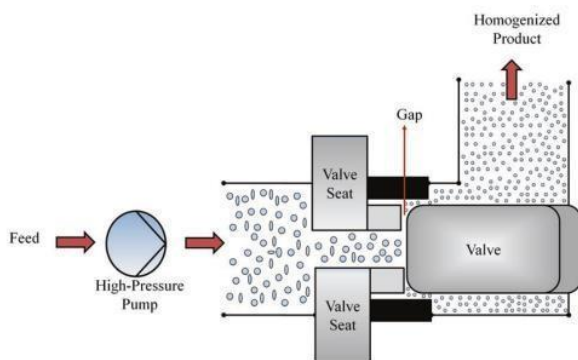
Mekanisme Kerja

Mekanisme kerja dari UHPH diawali dengan produk yang telah dilakukan filtrasi akan ditampung pada tangki produk. Produk yang telah tertampung akan dipompa menuju *heat exchanger*. Pada proses ini, produk akan didinginkan atau dipanaskan menyesuaikan dengan suhu inlet atau suhu fluida saat masuk ke dalam katup homogenisasi (Vasquez-Rojas et al., 2023). Produk yang telah dikondisikan temperaturnya akan diberi tekanan oleh pompa bertekanan tinggi sehingga produk akan menuju katup homogenisasi. Produk akan melewati celah sempit antara dudukan katup dan katup.

Pada saat yang sama, terjadi interaksi fisik antara produk dengan dinding katup yang menyebabkan beberapa fenomena, seperti turbulensi, *shear stress*, kavitasi, dan peningkatan suhu yang mengakibatkan disrupsi sel. Turbulensi akan meningkat karena tekanan yang tinggi, sehingga timbulnya regangan dan benturan mekanis pada sel (Floury et al., 2004). *Shear stress* atau gaya geser terjadi akibat aliran fluida atau produk secara laminar bergesekan dengan dinding katup menyebabkan deformasi sel yang akan melebihi titik kritis menyebabkan disrupsi sel. Kavitasi adalah fenomena terbentuknya gelembung uap akibat penurunan tekanan cairan secara drastis di bawah titik tekanan

uapnya dan meningkatnya suhu. Gelembung uap akan berkembang menuju tekanan yang lebih tinggi dan terpecah, sehingga mengganggu sel dan partikel dalam cairan. Produk yang diberi tekanan dapat mengalami peningkatan suhu. Peningkatan suhu yang terjadi dalam katup homogenisasi akibat pengaruh tekanan yang menurun drastis, sehingga yang awalnya energi berasal dari tekanan menjadi energi kinetik yaitu energi yang dimiliki pada benda bergerak yang menghasilkan panas, dikenal dengan efek Bernoulli (Janahar et al., 2021). Menurut Guamis et al. (2012) & Dong et al. (2015), peningkatan suhu dapat terjadi berkisar 1,4-2,5°C/10 MPa.

Adanya peningkatan suhu pada proses UHPH tetap menjadikan metode ini dalam golongan *non-thermal* karena waktu terjadinya kontak ada pada waktu kurang dari 1 detik (Floury et al., 2004). Produk yang telah melewati katup homogenisasi akan menuju ke dalam sistem pendingin untuk menghindari kerusakan akibat suhu panas. Produk yang memenuhi kondisi yang diinginkan dapat dialirkan menuju tangki aseptik dan dilakukan pengemasan secara aseptis (Guamis et al., 2012; Poliseli-Scopel et al., 2014).



Gambar 2. Mekanisme kerja UHPH

Sumber: Vinchhi et al. (2021)

Pengaruh UHPH terhadap Karakteristik Mikroba pada Susu Nabati

Susu nabati yang kaya akan gizi dan mengandung kadar air yang tinggi mengakibatkan susu nabati mudah ditumbuhi

oleh mikroba. Proses pengolahan susu nabati yang tidak sesuai juga dapat menjadi salah satu sumber kontaminan mikroba. Mikroba dapat mengakibatkan penyimpangan selama penyimpanan susu nabati, sehingga umur simpan produk ada dalam jangka waktu yang pendek (Vasquez-Rojas et al., 2023). Pengolahan susu nabati menggunakan metode UHPH dapat mempengaruhi karakteristik mikroba di dalamnya yang dapat dilihat pada Tabel 2. Keberadaan dan jumlah mikroba dalam produk dapat dijadikan tolak ukur keberhasilan metode UHPH dalam menciptakan produk yang aman dan memiliki kualitas yang baik untuk dikonsumsi.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Codina-Torrella et al. (2017), total bakteri mesofilik aerobik menunjukkan jumlah log reduksi paling tinggi dibandingkan mikroba lainnya. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Poliseli-Scopel et al. (2012) & Vasquez-Rojas et al. (2023), bahwa jumlah reduksi yang paling besar ada pada bakteri mesofilik aerobik. Mekanisme kematian sel mikroba dapat diakibatkan adanya fenomena-fenomena yang terjadi selama proses, seperti turbulensi, kavitasi, dan *shear stress* yang menyebabkan stres dan disrupsi mikroba terutama pada struktur selnya. Tekanan tinggi memecah sel dengan menghancurkan dinding sel mikroba sehingga isi sel keluar dan mikroba mengalami kematian (Ferreira et al., 2022). Tiap mikroba memiliki karakteristik membran sel yang berbeda sehingga diperlukan perhatian lebih agar dapat mereduksi mikroba tersebut.

Kombinasi suhu dan tekanan dalam UHPH sangat mempengaruhi jumlah reduksi mikroba pada produk susu. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Vasquez-Rojas et al. (2023) & Valencia-Flores et al. (2013), pada bakteri berspora yaitu *Bacillus cereus* yang memiliki resistensi terhadap lingkungan yang ekstrem dapat direduksi dengan metode UHPH, namun perbedaan

jumlah reduksi dipengaruhi pada suhu yang berbeda pada tekanan yang sama. Inaktivasi bakteri berspora lebih diakibatkan oleh suhu saat homogenisasi atau saat melalui celah katup.

Menurut Dong et al. (2015), pada tekanan 200 MPa dan suhu saat homogenisasi mencapai 120°C tidak menunjukkan inaktivasi pada bakteri berspora. Saat tekanan ditingkatkan hingga 300-350 MPa dan suhu saat homogenisasi mencapai 140-150°C dapat mereduksi bakteri berspora 2-4 log CFU/mL. Sejalan dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Poliseli-Scopel et al. (2012); Valencia-Flores et al. (2013); dan Codina-Torrella et al. (2017), bahwa semakin tinggi suhu yang dicapai saat homogenisasi, maka reduksi mikroba semakin besar. Hal lainnya yang perlu diperhatikan adalah pengaruh dari jenis katup dan karakteristik produk, seperti pH dan viskositas.

Pengaruh UHPH pada Sifat Fisikokimia Susu Nabati

Susu nabati merupakan minuman hasil ekstraksi bahan nabati menggunakan air membentuk sebuah sistem emulsi. Tipe emulsi

dari susu nabati adalah *oil in water* (o/w) karena daya alirnya yang tinggi pada suhu kamar. Kestabilan protein sangat penting dalam susu nabati karena bertindak sebagai emulsifier (Poliseli-Scopel et al., 2012). Protein akan melapisi permukaan butiran lemak dalam sistem agar molekul lemak tetap dapat terdispersi dengan baik selama penyimpanan. Umumnya, stabilitas dipertahankan menggunakan tambahan emulsifier, namun dalam jangka panjang mengonsumsi emulsifier sintetis dapat membahayakan kesehatan. Bahaya kesehatan yang dapat ditimbulkan yaitu inflamasi, gangguan metabolisme, dan penyakit terkait dengan obesitas (Chassaing et al., 2022; Lv et al., 2023).

Penggunaan UHPH dapat meningkatkan stabilitas dengan cara memperkecil ukuran partikel dapat dilihat pada Tabel 3. Stabilitas emulsi dapat digambarkan dengan rata-rata ukuran partikel dan distribusinya yaitu semakin kecil ukuran partikel dan seragam, maka semakin baik stabilitasnya (Zhang et al., 2022). Susu nabati tanpa perlakuan atau susu nabati yang belum melewati proses sterilisasi dan

Tabel 2. Karakteristik mikroba pada susu nabati dengan metode UHPH

Susu Nabati	Kondisi*	Jenis Mikroba	Jumlah Reduksi (log CFU/mL)	Sumber
Kacang brazil	P = 180 MPa Tin = 25°C Tv = 120°C To = 5°C	<i>Escherichia coli</i>	~8,2	Vasquez-Rojas et al., (2023)
Kacang almond	P = 300 MPa Tin = 55°C Tv = 124,3°C To = 29,6 °C	<i>Enterobacteriaceae</i>	3,66	Valencia-Flores et al., (2013)
		<i>Micrococeae</i>	2,94	
		Khamir dan kapang	3,6	
		TMAC**	4,54	
		Total spora	4	
Kacang kedelai	P = 300 Mpa Tin = 75°C Tv = 135,7°C To = 26,2°C	<i>Bacillus cereus</i>	3	Poliseli-Scopel et al., (2012)
		TMAC**	5,02	
		Total spora	3,46	
Kacang harimau	P = 300 MPa Tin = 40°C Tv = 116°C To = 17,1°C	<i>Bacillus cereus</i>	3,55	Codina-Torrella et al., (2017)
		TMAC**	~4	
		<i>Bacillus sp.</i>	~0,30	
		Bakteri psikotropik	~3	
		<i>Enterobacteriaceae</i>	3,61	
		Khamir dan kapang	2,87	
		<i>Lactobacilli</i>	2,58	

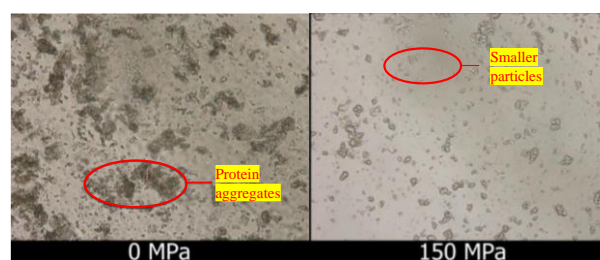
Keterangan: *) P = tekanan; Tin = suhu inlet; Tv = suhu saat homogenisasi; To = suhu akhir

***) *Total Mesophilic Aerobic bacteria Count*

penghomogenan memiliki jenis distribusi yaitu polidispersi. Distribusi partikel polidispersi menunjukkan bahwa adanya ketidakseragaman pada ukuran, berat, dan bentuk molekul terdispersi dalam susu nabati. Perbedaan tersebut diakibatkan perbedaan komponen dalam susu nabati, seperti lemak, protein, agregat protein dengan lemak, dan polisakarida (Poliseli-Scopel et al., 2012; Codina-Torrella et al., 2016). Menurut Gul et al. (2017), protein merupakan fraksi partikel halus dalam susu nabati, sedangkan butiran-butiran lemak merupakan fraksi partikel besar dan sisanya merupakan jaringan sel dan agregasi partikel. UHPH diketahui dapat mengecilkan ukuran partikel yang dapat dilihat dari mikrostruktur susu kacang hazel yang disajikan pada Gambar 3.

UHPH dapat menyebabkan stres mekanikal sehingga terjadi fenomena-fenomena yang menyebabkan disrupsi dan deformasi makromolekul dan partikel. Fenomena-fenomena yang terjadi selama UHPH yaitu *shear stress*, kavitasi, dan turbulensi menyebabkan partikel-partikel besar dari agregat-agregat molekul dan struktur globula yang kompak dapat pecah dan membentuk partikel-partikel kecil dan seragam

yang dapat terdispersi dengan baik dalam sistem emulsi susu nabati yang disebut dengan monodispersi dan monomodal (Bernat et al., 2014; Gul et al., 2017; D'Alessio et al., 2023). Adanya tekanan tinggi juga mengakibatkan denaturasi atau perubahan struktur protein sehingga sedikit sisi hidrofobik dapat terekspos dan fleksibilitas konformasi meningkat mengakibatkan peningkatan aktivitas permukaan dan adsorpsi protein pada antarmuka lemak dan air menciptakan stabilitas yang baik (Zhang et al., 2022; Vasquez-Rojas et al., 2023).



Gambar 3. Mikrostruktur susu kacang hazel tanpa perlakuan (kiri) dengan HPH bertekanan 150 MPa (kanan).

Sumber: Gul et al. (2017)

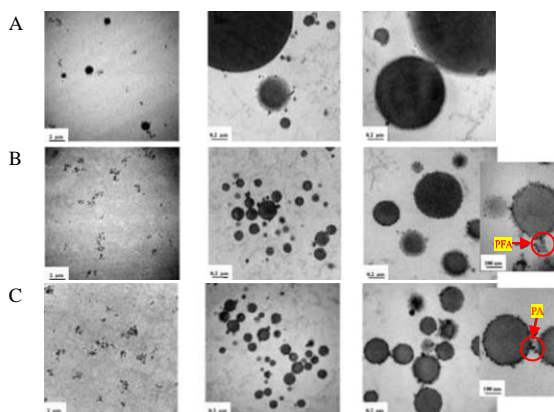
Penurunan ukuran partikel oleh tekanan tinggi diketahui ada pada batasan tertentu. Menurut Poliseli-Scopel et al. (2012) & Valencia-Flores et al. (2013), tekanan tinggi di atas 200-250 MPa dapat membentuk partikel-

Tabel 3. Ukuran partikel dan stabilitas susu nabati dengan metode UHPH

Susu Nabati	Tekanan (MPa)	Suhu Inlet (°C)	Suhu Valve (°C)	Suhu Akhir (°C)	Ukuran Partikel (µm)		Distribusi Partikel Sesudah Homogenisasi	Sumber
					Sebelum	Sesudah		
Kacang Brazil	180	25	120	5	8,2275	~0,3	Monodispersi dan monomodal	Vasquez-Rojas et al., (2023)
Kacang almond	172	N/A	N/A	N/A	92,9	14	Monodispersi dan monomodal	Bernat et al., (2014)
	300	55	124,3	29,6	3,6	7,1	Polidispersi dan bimodal	Valencia-Flores et al., (2013)
	350	85	N/A	N/A	7,85	21,16	Monodispersi dan monomodal	Briviba et al., (2016)
Kacang hazel	150	15	N/A	N/A	183,82	31,40	Monodispersi dan monomodal	Gul et al., (2017)
	172	N/A	N/A	N/A	101	17,7	Monodispersi dan monomodal	Bernat et al., (2014)
Kacang kedelai	200-300	75	135,7	26,2	12,98	3,09-3,39	Polidispersi dan bimodal	Poliseli-Scopel et al., (2012)
Kacang harimau	200-300	40	116	17,1	0,6-20	0,05-0,9	Polidispersi dan bimodal	Codina-Torrella et al., (2016)

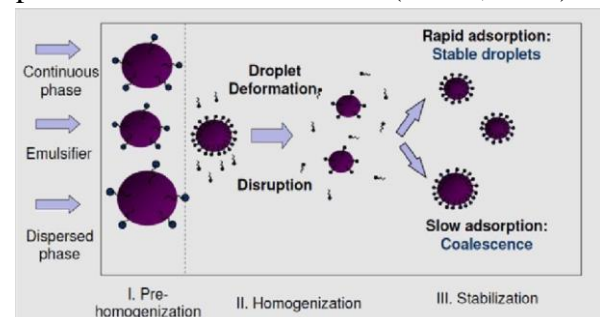
Keterangan: N/A = not available

partikel besar yang diakibatkan oleh perubahan struktur protein lebih lanjut meningkatkan interaksi hidrofobik dan saling berinteraksi satu sama lain membentuk agregat. Terbentuknya agregat protein mengakibatkan ketersediaan protein untuk melapisi butiran lemak tidak mencukupi sehingga terjadi fenomena-fenomena yang menjadi penyebab penurunan stabilitas, seperti koalesens dan flokulasi. Hal tersebut dapat didukung pada hasil visualisasi mikrostruktur terhadap susu harimau pada Gambar 4. Pada perlakuan dengan tekanan 200 dan 300 MPa diperoleh ukuran partikel yang lebih kecil dan seragam, namun saat dilakukan perbesaran pada partikel untuk perlakuan UHPH dengan tekanan 200 MPa mulai terbentuk agregat antara lemak dan protein (*protein-fat aggregates*/PFA) karena adanya denaturasi pada sebagian protein. Pada tekanan 300 MPa, semakin banyak protein yang terdenaturasi sehingga terbentuk agregat protein (*protein aggregates*/PA) pada permukaan droplet lemak. Adanya partikel kecil yang dominan terbentuk dengan beberapa partikel besar akibat agregasi protein dan lemak menyebabkan distribusi partikel setelah proses UHPH dengan tekanan diatas 200 MPa menjadi bimodal dan polidispersi (Codina-Torrella et al., 2016).



Gambar 4. Mikrostruktur susu kacang harimau (A) tanpa perlakuan; (B) UHPH tekanan 200 MPa, 40°C; (C) UHPH tekanan 300 MPa, 40°C.
Sumber: Codina-Torrella et al. (2016)

Koalesens merupakan peristiwa gabungannya globula-globula lemak menjadi lebih besar. Flokulasi merupakan pemisahan fase karena protein terdenaturasi membentuk jembatan protein yang dapat memerangkap agregat besar dari partikel protein lipid kecil, sehingga sifat hidrofobik semakin tinggi dan afinitas air rendah mengakibatkan emulsi tidak stabil (Valencia-Flores et al., 2013). Distribusi ukuran partikel sangat dipengaruhi oleh proses homogenisasi, pemanasan, komponen dalam produk, dan kecepatan adsorpsi protein pada antarmuka lemak dan air. Saat globula lemak terdisrupsi menjadi partikel kecil, globula lemak dapat stabil jika adsorpsi protein lebih cepat sebelum globula-globula lemak saling bertubrukan yang dapat dilihat pada Gambar 5. Sebaliknya, jika adsorpsi protein terlalu lambat, maka globula lemak tidak akan terlapisi sempurna oleh protein sebagai emulsifier dan saat saling bertubrukan akan menyatu membentuk partikel besar atau koalesens (Weiss, 2008).



Gambar 5. Kecepatan adsorpsi protein pada globula lemak

Sumber: Weiss (2008)

KESIMPULAN

Metode UHPH dapat menjadi alternatif proses termal. UHPH dapat mereduksi bakteri mesofilik aerobik dengan kisaran 4-8 log CFU/mL dan mikroorganisme lainnya, termasuk bakteri berspora. Bakteri berspora dapat tereduksi hingga 3,55 log CFU/mL pada tekanan 300 MPa. Kombinasi tekanan dengan suhu inlet yang semakin tinggi dalam UHPH dapat meningkatkan jumlah reduksi mikroba. Proses UHPH dapat memperkecil dan

menyeragamkan ukuran partikel hingga 152,42 µm bergantung pada komponen kimiawi tiap susu nabati. Penggunaan tekanan di atas 200 MPa dapat menyebabkan terbentuknya partikel besar dan mengalami penurunan stabilitas emulsi pada susu nabati.

Saran

Penggunaan UHPH dalam industri membutuhkan kombinasi suhu dan tekanan yang sesuai dengan produk dan dipengaruhi oleh mikroorganisme dan komponen di dalam susu nabati sehingga perlu adanya kajian khusus atau penelitian lebih lanjut terhadap produk yang akan diolah agar dapat mereduksi mikroorganisme yang tidak dikehendaki dan meningkatnya stabilitas selama penyimpanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmotilib, N., Hamad, G., Elderea, H., Salem, E., & Sohaimy, S. (2018). Aflatoxin M1 Reduction in Milk by A Novel Combination of Probiotic Bacterial and Yeast Strains. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 8(2), 83–99. <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2018/39486>
- Badan Standardisasi Nasional. (1995). *Susu Kedelai*. SNI 01-38301995. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Susu Segar-Bagian 1: Sapi*. SNI 01-3141-2011. Badan Standardisasi Nasional.
- Bernat, N., Cháfer, M., Rodríguez-García, J., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2014). Effect of High Pressure Homogenisation and Heat Treatment on Physical Properties and Stability of Almond and Hazelnut Milks. *LWT*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.045>
- Bhunua, A. K. (2018). *General Mechanism of Pathogenesis*. 87–115. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7349-1_4
- Briviba, K., Gräf, V., Walz, E., Guamis, B., & Butz, P. (2016). Ultra High Pressure Homogenization of Almond Milk: Physicochemical and Physiological Effects. *Food Chemistry*, 192, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.063>
- Carrillo-Lopez, L. M., Juarez-Morales, M. G., Garcia-Galicia, I. A., Alarcon-Rojo, A. D., & Huerta-Jimenez, M. (2020). The Effect of High-Intensity Ultrasound on the Physicochemical and Microbiological Properties of Mexican Panela Cheese. *Foods*, 9, 1–14. <https://doi.org/10.3390/foods9030313>
- Chassaing, B., Compher, C., Bonhomme, B., Liu, Q., Tian, Y., Walters, W., Nessel, L., Delaroque, C., Hao, F., Gershuni, V., Chau, L., Ni, J., Bewtra, M., Albenberg, L., Bretin, A., McKeever, L., Ley, R. E., Patterson, A. D., Wu, G. D., Lewis, J. D. (2022). Randomized Controlled-Feeding Study of Dietary Emulsifier Carboxymethylcellulose Reveals Detrimental Impacts on the Gut Microbiota and Metabolome. *Gastroenterology*, 162(3), 743–756. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2021.11.000>
- Codina-Torrella, I., Gallardo-Chacón, J. J., Juan, B., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2023). Effect of Ultra-High Pressure Homogenization (UHPH) and Conventional Thermal Pasteurization on the Volatile Composition of Tiger Nut Beverage. *Foods*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/foods1204068>
- Codina-Torrella, I., Guamis, B., Ferragut, V., & Trujillo, A. J. (2016). Potential Application of Ultra-High Pressure Homogenization in the Physicochemical Stabilization of Tiger Nuts' Milk Beverage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 40, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.023>

- Codina-Torrella, I., Guamis, B., Zamora, A., Quevedo, J. M., & Trujillo, A. J. (2017). Microbiological Stabilization of Tiger Nuts' Milk Beverage Using Ultra-High Pressure Homogenization. A Preliminary Study on Microbial Shelf-Life Extension. *Food Microbiology*, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.002>
- D'Alessio, G., Flamminii, F., Faieta, M., Prete, R., Di Michele, A., Pittia, P., & Di Mattia, C. D. (2023). High Pressure Homogenization to Boost the Technological Functionality of Native Pea Proteins. *Current Research in Food Science*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.10049>
- Dewiasty, E., Setiati, S., Agustina, R., Roosheroe, A. G., Abdullah, M., Istanti, R., & de Groot, L. C. (2021). Prevalence of Lactose Intolerance and Nutrients Intake in An Older Population Regarded as Lactase Non-Persistent. *Clinical Nutrition ESPEN*, 43, 317–321. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.03.033>
- Dong, P., Georget, E., Aganovic, K., Heinz, V., & Mathys, A. (2015). Inactivation of *Bacillus amyloliquefaciens* Spores by Continuous High-Pressure-Assisted Termal Sterilization in An Oil-in-Water (O/W) Emulsion with 10% Soybean Oil. *European Food Research and Technology*, 242(6), 935–942. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2600-1>
- Elhasan, S. M., Bushara, A. M., Abdelhakam, K. E., Farahat, F. H., Ezzeldeen, M., Elkhair, N. M., & Mohamed, A. A. (2022). Effect of Heat Treatment on the Bacterial Load and Sensory Attributes of Different Types of Milk. *Journal of The Saudi Society for Food and Nutrition*, 15(1), 79–86.
- Espejo, G. G. A., Hernandez-Herrero, M. M., Juan, B., & Trujillo, A. J. (2014). Inactivation of *Bacillus* Spores Inoculated in Milk by Ultra High Pressure Homogenization. *Food Microbiology*, 44, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.06.010>
- Ferreira, A., Figueiredo, D., Ferreira, F., Ribeiro, B., Reis, A., Silva, T. L. D., & Gouveia, L. (2022). Impact of High-Pressure Homogenization on the Cell Integrity of *Tetrademus obliquus* and Seed Germination. *Molecules*, 27(7). <https://doi.org/10.3390/molecules27072275>
- Floury, J., Bellettre, J., Legrand, J., & Desrumaux, A. (2004). Analysis of a New Type of High Pressure Homogeniser. A Study of the Flow Pattern. *Chemical Engineering Science*, 59(4), 843–853. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2003.11.017>
- Gaulin, A. (1904). System for Intimately Mixing Milk. US Patent US756953. Guamis, B., Trujillo, A., Ferragut, V., Quevedo, J., López, T., & Buffa, M. (2012). Continuous System and Procedure of Sterilization and Physical Stabilization of Pumpable Fluids by Means of Ultra-High Pressure Homogenization. *US Patent Application*, 2(12).
- Gul, O., Atalar, I., Mortas, M., Saricaoglu, F. T., & Yazıcı, F. (2018). Application of TOPSIS Methodology to Determine Optimum Hazelnut Cake Concentration and High Pressure Homogenization Condition for Hazelnut Milk Production Based on Physicochemical, Structural and Sensory Properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2404–2415. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9857-6>
- Gul, O., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Atalar, I., & Yazici, F. (2017). Effect of High Pressure Homogenization (HPH) on Microstructure and Rheological Properties of Hazelnut Milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.002>
- International Dairy Federation. 2020. The Codex General Standard for the Use of Dairy Terms - Its Nature, Intent, and Implications. www.fil-idf.org. Tanggal akses 25 Oktober 2023.

- Janahar, J. J., Marciniak, A., Balasubramaniam, V. M., Jimenez-Flores, R., & Ting, E. (2021). Effects of Pressure, Shear, Temperature, and Their Interactions on Selected Milk Quality Attributes. *J. Dairy Sci.*, *104*(2), 1531–1547.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19081>.
- Kruszewski, B., Domian, E., & Nowacka, M. (2023). Influence of High-Pressure Homogenization on the Physicochemical Properties and Betalain Pigments of Red Beetroot (*Beta vulgaris* L.) Juice. *Molecules*, *28*(5).
<https://doi.org/10.3390/molecules28052018>
- Linhares, M. de F. D., Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., Fonteles, T. V., Wurlitzer, N. J., de Brito, E. S., Fernandes, F. A. N., & Rodrigues, S. (2020). Thermal and Non-Thermal Processing Effect on Açai Juice Composition. *Food Research International*, *1*–52.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109506>
- Liu, Y., Liao, M., Rao, L., Zhao, L., Wang, Y., & Liao, X. (2022). Effect of Ultra-High Pressure Homogenization on Microorganism and Quality of Composite Pear Juice. *Food Science and Nutrition*, *3072*–3084.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2906>
- Lv, W., Song, J., Nowshin Raka, R., Sun, J., Shi, G., Wu, H., Xiao, J., & Xu, D. (2023). Effects of Food Emulsifiers on High Fat Diet-Induced Obesity, Intestinal Inflammation, Changes in Bile Acid Profile, and Liver Dysfunction. *Food Research International*, *173*(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113302>
- Madani, A., Esfandiari, Z., Shoaie, P., & Ataei, B. (2022). Evaluation of Virulence Factors, Antibiotic Resistance, and Biofilm Formation of *Escherichia coli* Isolated from Milk and Dairy Products in Isfahan, Iran. *Foods*, *11*(7).
<https://doi.org/10.3390/foods11070960>
- Manzoor, M. F., Siddique, R., Hussain, A., Ahmad, N., Rehman, A., Siddeeg, A., Alfarga, A., Alshammari, G. M., & Yahya, M. A. (2021). Thermosonication Effect on Bioactive Compounds, Enzymes Activity, Particle Size, Microbial Load, and Sensory Properties of Almond (*Prunus dulcis*) Milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, *78*, 2–9.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105705>
- Michael, M., Acuff, J. C., Vega, D., Sekhon, A. S., Channaiah, L. H., & Phebus, R. K. (2023). Survivability and Thermal Resistance of *Salmonella* and *Escherichia coli* O121 in Wheat Flour during Extended Storage of 360 Days. *International Journal of Food Microbiology*, *390*, 110-123.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110123>
- Moisés, S. G., Guamis, B., Roig-Sagués, A. X., Codina-Torrella, I., & Hernández-Herrero, M. M. (2022). Effect of Ultra-High Pressure Homogenization Processing on the Microbiological, Physicochemical, and Sensory Characteristics of Fish Broth. *Foods*, *11*(24).
<https://doi.org/10.3390/foods11243969>
- Moore, S. S., Costa, A., Pozza, M., Vamerli, T., Niero, G., Censi, S., & De Marchi, M. (2023). How Animal Milk and Plant-Based Alternatives Diverge in Terms of Fatty Acid, Amino Acid, and Mineral Composition. *Science of Food*, *50*, 1–12.
<https://doi.org/10.1038/s41538-023-00227-w>
- Nawaz, M. A., Buckow, R., Jegasothy, H., & Stockmann, R. (2022). Enzymatic Hydrolysis Improves the Stability of UHT Treated Faba Bean Protein Emulsions. *Food and Bioproducts Processing*, *132*, 200–210.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.01.008>
- Paz, E. D., Martín, Á., Bartolomé, A., Largo, M., & Cocero, M. J. (2014). Development of Water-Soluble B-carotene Formulations by High-temperature, High-Pressure Emulsification and Antisolvent Precipitation. *Food Hydrocolloids*, *37*, 14–24.

- <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.011>
- Poliseli-Scopel, F. H., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2012). Comparison of Ultra High Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on The Microbiological, Physical and Chemical Quality of Soymilk. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.004>
- Poliseli-Scopel, F. H., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2014). Sterilization and Aseptic Packaging of Soymilk Treated by Ultra High Pressure Homogenization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 81– 88. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.001>
- Probo, V. 2016. Kopi Susu Nabati Kini Makin Digemari. <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20161027062751-168289/kopi-susu-nabati-kini-makin-digemari>. Tanggal akses 15 Oktober 2023.
- Reineke, K., Schlumbach, K., Baier, D., Mathys, A., & Knorr, D. (2013). International Journal of Food Microbiology the Release of Dipicolinic Acid — the Rate-Limiting Step of Bacillus Endospore Inactivation during the High Pressure Thermal Sterilization Process. *International Journal of Food Microbiology*, 162(1), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.010>
- Sartori, A. G. de O., Canto Machado, M., Deborah Helena Markowicz, B., de Alencar, S. M., & Regitano-d'Arce, M. A. B. (2020). Water-Extracted Brazil Nut Co-Products: Nutritional Value and Estimation of Nutrient Losses during Processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(4), 1919–1925. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00439-8>
- Scudino, H., Silva, E. K., Gomes, A., Guimarães, J. T., Cunha, R. L., Sant'Ana, A. S., Meireles, M. A. A., & Cruz, A. G. (2020). Ultrasound Stabilization of Raw Milk: Microbial and Enzymatic Inactivation, Physicochemical Properties and Kinetic Stability. *Ultrasonics Sonochemistry*, 67, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.10.5185>
- Shakeel, J., Khalil, T., Khalil, M., Shakeel, N., Shukay, R., Aleem, M. T., Shaukat, I., Shaukat, A., Asrar, R., & Sharafat, H. (2022). Impact of Food-Borne Diseases in Association to One Health Concept and Efforts of Their Prevention. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 1(1), 150–157. <https://doi.org/10.47278/book.oht/2023.23>
- Sidhu, J. S., & Singh, R. K. (2016). Ultra High Pressure Homogenization of Soy Milk : Effect on Quality Attributes. *Beverages*, 2(15), 1–17. <https://doi.org/10.3390/beverages2020015>
- Silva, L. R. D., Velasco, J. I., & Fakhouri, F. M. (2023). Use of Rice on the Development of Plant-Based Milk with Antioxidant Properties: From Raw Material to Residue. *LWT*, 173, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114271>
- Suri, S., Kumar, V., Prasad, R., Tanwar, B., Goyal, A., Kaur, S., Gat, Y., Kumar, A., Kaur, J., & Singh, D. (2019). Considerations For Development of Lactose-free Food. *Journal of Nutrition and Intermediary Metabolism*, 15, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2018.11.003>
- Syahputra, E. 2023. 3 Susu Nabati Ini Cocok Jadi Campuran Kopi, Bisa Lebih Lezat?. <https://www.cnbcindonesia.com/lifestyle/20230203184715-33-410906/3-susu-nabati-ini-cocok-jadi-campuran-kopi-bisalebih-lezat>. Tanggal akses 15 Oktober 2023.

- Valencia-Flores, D. C., Hernández-Herrero, M., Guamis, B., & Ferragut, V. (2013). Comparing the Effects of Ultra-High-Pressure Homogenization and Conventional Thermal Treatments on the Microbiological, Physical, and Chemical Quality of Almond Beverages. *Journal of Food Science*, 78(2), 199–205. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12029>
- Vasquez-Rojas, W. V., Martín, D., Miralles, B., Recio, I., Fornari, T., & Cano, M. P. (2021). Composition of Brazil Nut (*Bertholletia excels Hbk*), Its Beverage and by-Products: A Healthy Food and Potential Source of Ingredients. *Foods*, 10, 1–24. <https://doi.org/10.3390/foods10123007>
- Vasquez-Rojas, W. V., Parralejo-Sanz, S., Martín, D., Fornari, T., & Cano, M. P. (2023). Validation of High-Pressure Homogenization Process to Pasteurize Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*) Beverages: Sensorial and Quality Characteristics during Cold Storage. *Beverages*, 9, 1–20. <https://doi.org/10.3390/beverages9010022>
- Vinchhi, P., Pathak, Y. V., & Patel, J. K. (2021). Emerging Technologies of Nanoparticle Manufacturing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-50703-9>
- Vissers, L. E. T., Rijkssen, J., Boer, J. M. A., Verschuren, W. M. M., van der Schouw, Y. T., & Sluijs, I. (2019). Fatty Acids From Dairy and Meat and Their Association with Risk of Coronary Heart Disease. *European Journal of Nutrition*, 58(7), 2639–2647. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1811-1>
- Walther, B., Guggisberg, D., Badertscher, R., Egger, L., Portmann, R., Dubois, S., Haldimann, M., Kopf-Bolan, K., Rhy, P., Zoller, O., Veraguth, R., & Rezzi, S. (2022). Comparison of Nutritional Composition Between Plant-Based Drinks and Cow's Milk. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.988707>
- Wang, Q., Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2018). High Pressure Homogenization Combined with pH Shift Treatment: A Process to Produce Physically and Oxidatively Stable Hemp Milk. *Food Research International*, 106, 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.021>
- Weiss, J. (2008). Emulsion Processing-Homogenization. Amherst. Wu, M., He, X., Feng, D., Li, H., Han, D., Li, Q., Zhao, B., Li, N., Liu, T., & Wang, J. (2023). The Effect of High Pressure Homogenization on the Structure of Dual-Protein and Its Emulsion Functional Properties. *Foods*, 12(18), 3358. <https://doi.org/10.3390/foods12183358>
- Wu, W. J., & Chang, J. (2021). Inactivation of Vegetative Cells, Germinated Spores, and Dormant Spores of *Bacillus atrophaeus* by Pulsed Electric Field with Fixed Energy Input. *Journal of Food Process Engineering*, 45(2), 1–7. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13959>
- Zhang, A., Wang, L., Song, T., Yu, H., Wang, X., & Zhao, X. huai. (2022). Effects of High Pressure Homogenization on the Structural and Emulsifying Properties of A Vegetable Protein: *Cyperus esculentus* L. *LWT*, 153, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112542>
- Zigo, F., Farkasová, Z., Vyrostková, J., Regecová, I., Ondrasovicová, S., Vargová, M., Sasáková, N., Pecka-Kielb, E., Bursová, S., & Kiss, D. S. (2022). Dairy Cows' Udder Pathogens and Occurrence of Virulence Factors in *Staphylococci*. *Animals*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/ani12040470>