

PEMANFAATAN PASTEURISASI, PEMBEKUAN, DAN *VACUUM-SEALING* UNTUK MENINGKATKAN UMUR SIMPAN AIR KELAPA TUA

Nurlaili Dwi Ulfah^{1)*}, Risma²⁾

¹⁾Universitas Sulawesi Barat Fakultas Pertanian dan Kehutanan Prodi Agribisnis, email: nurlailidu@unsulbar.ac.id

²⁾Universitas Sulawesi Barat Fakultas Pertanian dan Kehutanan Prodi Agroekoteknologi, email: risma@unsulbar.ac.id

*Penulis Korespondensi : E-mail : nurlailidu@unsulbar.ac.id

ABSTRAK

Air kelapa tua (*mature coconut water*, MCW) jarang diolah lebih lanjut karena umur simpan yang pendek menyebabkan perubahan sensoris secara signifikan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh kombinasi pasteurisasi, pembekuan, dan *vacuum-sealing* terhadap mutu sensori serta umur simpan MCW. Metode penelitian meliputi perlakuan pasteurisasi pada tiga variasi suhu dan waktu (80–85°C selama 5 menit; 72–75°C selama 15 menit; dan 72–75°C selama 30 detik), diikuti dengan pembekuan dan uji siklus *freeze-thaw* selama tiga kali, pengujian dengan campuran bahan lain, serta pengujian *vacuum-sealing* terhadap stabilitas sensoris selama penyimpanan beku. Parameter yang diamati meliputi warna, aroma, dan rasa berdasarkan uji sensori sederhana. Hasil menunjukkan bahwa pasteurisasi efektif memperpanjang umur simpan tanpa mengubah karakteristik sensoris secara signifikan. Perlakuan optimal diperoleh pada suhu 72–75°C selama 30 detik karena mampu mempertahankan kualitas sensori. Kombinasi pasteurisasi dan pembekuan memperpanjang umur simpan MCW hingga lebih dari 10 hari dalam kondisi beku dengan kestabilan sensori yang baik, sedangkan *vacuum-sealing* menjaga kualitas produk hingga 30 hari dengan meminimalkan oksidasi dan perubahan warna. Temuan ini menunjukkan bahwa metode sederhana tersebut berpotensi diterapkan pada skala rumah tangga dan UMKM untuk pemanfaatan limbah air kelapa tua secara berkelanjutan dan bernilai ekonomis dengan prinsip *zero waste*.

Kata kunci: *Air kelapa tua, Freeze-thaw, Stabilitas sensori, Zero waste.*

PENDAHULUAN

Indonesia menempati posisi strategis sebagai salah satu produsen kelapa terbesar di dunia, di mana spesies *Cocos nucifera* L. berperan penting dalam agribisnis dan perekonomian nasional (Winarno, 2015). Tanaman ini sering disebut sebagai “pohon kehidupan” karena hampir semua bagiannya, mulai dari akar hingga buah, memiliki nilai guna. Buah kelapa, khususnya, banyak diolah

dalam industri pangan menjadi minyak kelapa, santan, dan berbagai produk turunan lainnya. Selain itu, air kelapa juga dikenal memiliki kandungan nutrisi tinggi, sehingga semakin memperkuat nilai kelapa sebagai komoditas serbaguna dalam kehidupan masyarakat.

Secara umum, air kelapa dapat dibedakan menjadi air kelapa muda (*young coconut water*) dan tua (*mature coconut water*). *Young coconut water* (YCW) umumnya dikonsumsi sebagai minuman

penyegar karena rasa manis, aroma segar, dan kandungan elektrolitnya yang bermanfaat bagi kesehatan. Sementara itu, *mature coconut water* (MCW) memiliki karakteristik berbeda, seperti rasa yang cenderung hambar atau asam, warna lebih keruh, serta aroma yang kurang disukai, sehingga jarang dikonsumsi langsung. Akibatnya, MCW sering dianggap sebagai limbah setelah proses pengambilan santan, dan akhirnya terbuang percuma (Zahra Al Banna, Ilmiyah, & Khairunnisa, 2023).

Limbah MCW yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Air ini bersifat mudah terfermentasi, menjadi asam, dan menimbulkan bau tidak sedap dalam waktu singkat. Apabila dibuang langsung ke tanah, sifat asamnya dapat merusak struktur tanah serta menghambat pertumbuhan tanaman di sekitarnya (Hasnawati, Sutiharni, Deswarni, Jasiah, & Febrina, 2023). Oleh karena itu, MCW tidak boleh hanya dipandang sebagai sisa produksi, melainkan sebagai bahan baku yang berpotensi untuk diolah lebih lanjut.

Meski sering dianggap limbah, MCW masih mengandung beragam senyawa bernilai, seperti gula sederhana, vitamin, mineral esensial, dan senyawa polifenol dengan aktivitas antioksidan (Azra, Setiawan, Nasution, Sulaeman, & Estuningsih, 2023; Syahfitri et al., 2022). Kandungan bioaktif tersebut menunjukkan bahwa MCW memiliki nilai ekonomi dan nutrisi yang tinggi apabila diolah dengan tepat. Dengan memanfaatkannya, kita dapat menerapkan prinsip *zero waste* sekaligus menciptakan produk bernilai tambah di sektor agroindustri.

MCW merupakan cairan endosperma yang diperoleh dari dalam buah kelapa dengan daging buah yang sudah mengeras (Tan, Cheng, Bhat, Rusul, & Easa, 2014). Dari segi sensoris, MCW dengan usia 11-12 bulan memang kurang menarik dibandingkan

dengan YCW, namun kandungan nutrisinya tetap tinggi dan berpotensi untuk dikembangkan menjadi produk pangan fungsional. Selain itu, industri kelapa global diperkirakan membuang sekitar 2,4 miliar liter MCW setiap tahunnya hanya sebagai limbah (Aba, Luna, Villasis, & Ching, 2024). Angka yang sangat besar ini mengindikasikan bahwa MCW merupakan sumber daya yang belum dimanfaatkan secara optimal, terutama sebagai bahan baku minuman atau produk pangan inovatif.

Meski memiliki potensi, kendala utama dalam pemanfaatan MCW adalah umur simpannya yang sangat pendek. Kandungan nutrisi yang tinggi serta pH yang rendah (4,5–5,2) justru mendukung pertumbuhan mikroorganisme perusak. Pada suhu ruang, perubahan rasa, warna, dan aroma dapat diperkirakan terjadi dalam kurun waktu sekitar satu hari atau bahkan lebih cepat (Gunathilake & Rathnayake, 2012; Shi et al., 2025). Perubahan organoleptik yang cepat ini menjadi penghambat utama dalam pengembangan produk berbasis MCW, karena konsumen cenderung menolak produk dengan penampakan, bau, atau cita rasa yang tidak sesuai harapan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan strategi pengolahan yang efektif guna mempertahankan kualitas organoleptik dan memperpanjang umur simpan MCW. Beberapa metode yang telah diteliti antara lain pasteurisasi, pembekuan dan pengemasan *vacuum*. Pasteurisasi terbukti mampu menekan pertumbuhan mikroba pembusuk dan patogen, sehingga memperpanjang masa simpan. Namun, perlakuan panas yang tidak tepat justru dapat mengubah cita rasa dan menurunkan kualitas sensoris (Adubofuor, Amoah, & Osei-Bonsu, 2016; Chantakun, Nilswan, Sumpavapol, Huda, & Benjakul, 2022; Gunathilake & Rathnayake, 2012). Meskipun demikian, pasteurisasi tetap

menjadi pilihan utama dalam industri pangan karena efektivitasnya dalam pengawetan.

Di sisi lain, metode berbasis pembekuan menawarkan pendekatan non-termal yang efektif dalam menjaga kualitas sensoris MCW, karena proses pada suhu rendah mampu mempertahankan stabilitas rasa, aroma, dan warna (Jayawardena, Vanniarachchy, & Wansapala, 2020; Jusoh, Mohamed Nor, & Yamani Zakaria, 2014). Selain itu, penerapan sistem pengemasan kedap udara, seperti *vacuum-seal* dengan kadar oksigen rendah, juga terbukti dapat memperpanjang umur simpan produk pangan cair dengan menekan pertumbuhan mikroba aerob dan kapang (Kailaku, Setiawan, & Sulaeman, 2017; Yewle, Stroshine, Ambrose, & Baributsa, 2024). Metode pasteurisasi, pembekuan, dan *vacuum-sealing* dapat diterapkan secara terpadu pada skala rumah tangga maupun UMKM, sehingga sangat potensial dalam pengolahan MCW untuk mempertahankan kualitas organoleptik.

Sayangnya, penelitian mengenai kombinasi pasteurisasi, pembekuan dan pengemasan vacum pada MCW masih sangat terbatas. Padahal, pendekatan gabungan ini diyakini dapat memberikan efek sinergis: pasteurisasi berperan dalam menstabilkan kondisi awal dengan mengurangi jumlah mikroba, sementara pembekuan membantu mempertahankan kualitas organoleptik selama penyimpanan dan pengemasan vacum menekan pertumbuhan bakteri aerob. Dengan demikian, kombinasi metode pasteurisasi dan pembekuan, yang selanjutnya diikuti *vacuum-sealing* pada kondisi beku, berpotensi memperpanjang umur simpan MCW sekaligus menjaga mutu sensorisnya. Jika berhasil, MCW yang semula dianggap sebagai limbah dapat diubah menjadi produk minuman yang memiliki nilai tambah.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh

kombinasi pasteurisasi, pembekuan dan pengemasan vacum terhadap mutu organoleptik serta umur simpan MCW. Hasil penelitian diharapkan tidak hanya memberikan landasan ilmiah bagi pemanfaatan limbah MCW secara berkelanjutan, tetapi juga mendukung penerapan prinsip *zero waste* serta membuka peluang usaha baru di sektor pangan fungsional, khususnya bagi UMKM yang bergerak di industri berbasis kelapa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di rumah tim peneliti yang berlokasi di Kabupaten Majene, Provinsi Sulawesi Barat, Indonesia. Kegiatan penelitian dimulai pada hari Jumat, 22 Agustus 2025, meliputi tahap persiapan bahan dan alat, pemberian perlakuan, hingga pengujian akhir yang dilakukan pada hari Sabtu, 13 September 2025.

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi air kelapa tua (MCW), campuran buah dan susu cair, dan *vacuum sealer bag*. Adapun alat yang digunakan meliputi Wadah *food grade*, filter aluminium 200 mesh ($\pm 74 \mu\text{m}$), peralatan pemanas, peralatan *immersion cooling*, *freezer*, lemari pendingin, *ice-cube tray*, *vacuum sealer*, gelas beaker, sendok, dan lembar penilaian sensori (lembar skor).

Sebanyak 800 mL MCW hasil filtrasi dibagi ke dalam empat sampel, dengan volume masing-masing sebanyak 200 mL. Tiga sampel pasteurisasi dengan variasi suhu dan waktu. Satu sampel sebagai kontrol dibagi ke dalam lima wadah *food grade* berukuran 30 mL (disi sebanyak 25 mL) dan segera disimpan dalam *freezer*.

Sampel I diberikan perlakuan panas (pasteurisasi) dengan suhu 80-85°C selama 5 menit. Sampel II dipasteurisasi dengan suhu 72-75°C selama 15 menit. Sampel III juga dipasteurisasi dengan suhu 72-75°C tetapi

hanya selama 30 detik. Setelah perlakuan pasteurisasi, setiap sampel segera didinginkan dengan metode *immersion cooling*. Setelah sampel mencapai suhu ruang, dilakukan filtrasi kembali sebelum memasukkan sampel ke dalam wadah *food grade* kecil untuk dibekukan. Dari setiap sampel, diambil 25 mL yang tersisa dari pendinginan suhu ruang setelah pasteurisasi untuk digunakan pada uji sensori sederhana untuk melihat warna, aroma, dan rasa.

Setiap sampel dibagi menjadi enam fraksi ke dalam kemasan *food grade* masing-masing sebanyak 25 mL dan segera disimpan dalam *freezer* seperti kontrol. Enam fraksi dari setiap sampel sehingga total ada 24 fraksi dari empat kelompok sampel yang dibuat dalam penelitian ini.

Sampel dibiarkan beku di dalam *freezer* hingga ± 72 jam (MCW-ice) yang merupakan produk utama yang diinginkan. Untuk menguji stabilitas sampel, metode *freeze-thaw* dilakukan pada semua fraksi sampel, yaitu dengan mengeluarkan sampel beku dari *freezer* dan membiarkannya mencair di suhu ruang.

Uji sensoris sederhana dilakukan setelah setiap pencairan untuk menilai perubahan warna, aroma, dan rasa. Fraksi yang tersisa dari setiap sampel dimasukkan kembali ke dalam *freezer* untuk dibekukan selama ± 72 jam. Siklus ini dilakukan sebanyak tiga kali.

Setelah tiga siklus, tersisa tiga fraksi beku MCW-ice untuk setiap sampel. Dua fraksi digunakan untuk mengamati pengaruhnya terhadap cita rasa produk berbasis buah dan susu cair. Masing-masing campuran dibagi menjadi dua: satu disimpan pada suhu ruang selama ± 12 jam, dan satu lagi di lemari pendingin selama ± 24 jam. Tujuannya ialah mengevaluasi kestabilan sensoris dan mutu pada dua kondisi penyimpanan berbeda. Uji sensori dilakukan

pada jam ke-3, ke-6, ke-9, ke-10, ke-11, dan ke-12 untuk sampel suhu ruang, serta pada jam ke-12 dan ke-24 untuk sampel suhu dingin.

Sebanyak 1200 mL MCW hasil filtrasi awal yang belum dipasteurisasi dibagi menjadi 15 fraksi (± 80 mL) dalam wadah *ice-cube*, kemudian dibekukan selama ± 24 jam. Setelah beku, masing-masing fraksi dipindahkan ke plastik khusus, *divacuum*, *disealer*, dan disimpan kembali dalam *freezer*. Setiap dua hari, satu fraksi dikeluarkan, dibiarkan mencair pada suhu ruang, dan digunakan untuk uji sensori sederhana meliputi warna, aroma, dan rasa.

Uji umur simpan dilakukan dengan evaluasi sensori dengan melihat warna, membaui aroma, dan mencoba rasa. Tim peneliti menandai sampel berdasarkan preferensi terhadap warna, aroma, rasa, dan penerimaan keseluruhan menurut standar lembar skor yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Skor yang dapat diterima pada penelitian ini adalah 2 atau kategori dapat diterima. Apabila skor uji sensori dibawah dua, maka perlakuan pada sampel dihentikan dan dianggap sebagai batas umur simpan.

Tabel 1. Karakteristik Skor Sensori MCW

Skor	Warna	Aroma	Rasa	Penerimaan secara keseluruhan
4	Transparan, tidak ada kotoran	Proporsi aroma air kelapa sesuai dan murni, tidak ada bau yang mengganggu	Rasanya enak di mulut. Konsistensinya pas, menyegarkan, dan nikmat.	Bagus sekali
3	Kurang transparan, sedikit kondensat	Proporsi aroma air kelapa sesuai dan murni, bau dapat diterima	Rasa di mulut biasa saja. Konsistensinya relatif dan menyegarkan.	Biasa saja
2	Warna keruh tetapi masih normal	Proporsi aroma air kelapa sedikit berubah, bau kurang enak dan sulit diterima	Rasa di mulut kurang enak. Konsistensinya kurang pas dan kurang menyegarkan.	Dapat diterima
1	Warna keruh dan tidak normal	Tidak ada aroma air kelapa, bau tidak enak dan sama sekali tidak dapat diterima	Rasa di mulut tidak enak dan kecut.	Tidak dapat diterima

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Pasteurisasi dan Pembekuan terhadap Umur Simpan dan Karakteristik Sensori MCW

MCW hasil filtrasi dibagi menjadi empat kelompok sampel. Tiga kelompok sampel diberikan perlakuan panas (pasteurisasi) dengan variasi suhu dan waktu, yang berdasarkan studi terdahulu menunjukkan bahwa kombinasi suhu sedang dengan durasi tertentu dapat mengurangi aktivitas enzim dan mikroba, sekaligus mempertahankan kualitas sensoris *coconut water* (Adubofuor et al., 2016; Gunathilake & Rathnayake, 2012). Satu kelompok sampel

sebagai kontrol yang tidak diolah lebih lanjut sebelum disimpan dalam lemari pembeku.

Tiga kombinasi suhu dan waktu pasteurisasi dipilih berdasarkan kajian literatur dengan mempertimbangkan perubahan sensoris yang mungkin terjadi. Temuan menyebutkan inaktivasi enzim dan pengurangan mikroba yang signifikan dengan suhu $\sim 80\text{--}85^\circ\text{C}$ selama 5 menit (Kanjapongkul & Baibua, 2021; Pandiselvam et al., 2022). Studi lain menyebutkan varian *low-to-moderate temperature, long holding time*, dengan rentang suhu $70\text{--}80^\circ\text{C}$ selama 15 menit dapat digunakan pada produk untuk menonaktifkan enzim yang tahan panas dan mengurangi mikroba (Petruzzi et al., 2017; Zia, Slatnar, Košmerl, & Korošec, 2024). Selain itu, dengan kekhawatiran terhadap paparan panas yang dapat merusak sensoris MCW, digunakan juga waktu yang lebih singkat untuk suhu yang rendah, yaitu $72\text{--}75^\circ\text{C}$ selama 30 detik. Hal ini termasuk kategori standar pasteurisasi umum ($72^\circ\text{C}/15$ detik) dimana studi pada air kelapa menunjukkan keamanan mikrobiologis dengan mempertahankan kualitas organoleptik. Memperpanjang waktu menjadi 30 detik pada penelitian ini adalah untuk meningkatkan reduksi mikroba dan penurunan aktivitas enzim tanpa perubahan besar pada profil sensorik (Ma et al., 2019).

Setelah perlakuan pasteurisasi, setiap sampel segera didinginkan dengan metode pendinginan cepat *immersion cooling* (pendinginan celup), yaitu dengan mencelupkan wadah berisi sampel ke dalam campuran air dan es batu (Li et al., 2022; F. Ma et al., 2020). Setelah sampel mencapai suhu ruang, dilakukan filtrasi kembali. Filtrasi ini untuk memastikan kejernihan larutan bebas dari partikel padat yang dapat menyebabkan kontaminasi (Detudom et al., 2023). Dari setiap sampel, diambil 25 mL yang tersisa dari pendinginan suhu ruang

setelah pasteurisasi untuk digunakan pada uji sensori sederhana untuk melihat warna, aroma, dan rasa. Berikut rincian hasilnya.

Berdasarkan hasil uji sensori (Tabel 2), secara umum seluruh sampel MCW tergolong dalam kategori “sangat baik”, kecuali pada perlakuan pasteurisasi 80–85°C selama 5 menit. Temuan ini menunjukkan bahwa perlakuan pasteurisasi pada rentang suhu dan waktu tersebut tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap rasa MCW. Namun, pada satu titik suhu dan waktu tertentu, pasteurisasi memang dapat menyebabkan perubahan sensori. Pasteurisasi dilaporkan dapat merubah warna, menyebabkan hilangnya aroma “segar”, serta dapat menambah karakter rasa “matang” atau “termasak”, namun tingkat perubahan bergantung pada kombinasi suhu dan waktu dari pemanasan (Giavoni, Villanueva-Suárez, Peña-Armada, Garcia-Alonso, & Mateos-Aparicio, 2022; Pandiselvam et al., 2022). Meskipun terdapat perubahan sensori, namun seluruh sampel masih dalam batas yang dapat diterima sehingga semua kelompok sampel dapat digunakan lebih lanjut. Setiap kelompok sampel dibagi menjadi enam fraksi dan segera disimpan dalam lemari pembeku seperti sampel kontrol. Fraksi sampel dibiarkan beku sebagai salah satu cara memperpanjang umur simpan.

Perlakuan pembekuan adalah tindak lanjut untuk memperpanjang umur simpan dari MCW. Pembekuan merupakan salah satu metode pengawetan non-termal yang efektif dalam memperpanjang umur simpan produk pangan cair seperti air kelapa, dengan cara menurunkan aktivitas air sehingga pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi biokimia menjadi sangat lambat (Grover & Negi, 2023). Keunggulan dari metode pengawetan ini adalah kemampuannya mempertahankan sifat sensori, seperti warna,

aroma, dan rasa, selama penyimpanan (Wu et al., 2021).

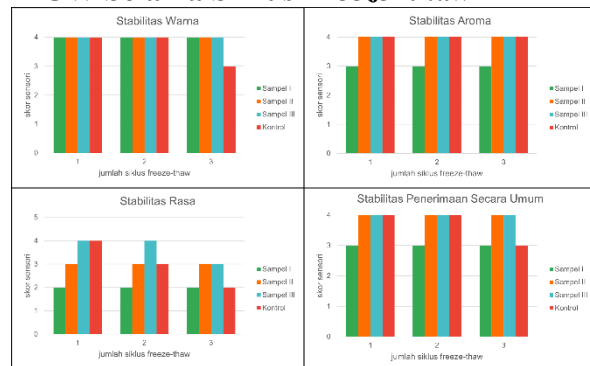
Tabel 2. Rincian Kualitas Sensori MCW dengan Perlakuan Pasteurisasi

Perlakuan	Sampel	Skor Sensori				Kualitas Sensori
		Warna	Aroma	Rasa	Total	
80-85°C/ 5 menit	I	4	3	2	3	Beraroma kelapa yang kuat, jernih, sensasi rasa yang berminyak cukup kuat
72-75°C/ 15 menit	II	4	4	3	4	Sedikit beraroma kelapa, jernih, sedikit sensasi rasa berminyak
72-75°C/ 30 detik	III	4	4	4	4	Aroma kelapa yang sangat tipis, jernih, segar dan tidak ada sensasi rasa berminyak
tidak ada perlakuan	Kontrol	4	4	4	4	Aroma kelapa segar yang kuat, jernih, segar

Penyimpanan beku maksimum 2 bulan masih mempertahankan sebagian besar karakteristik sensori air kelapa (Kan, Wang, Song, Zhang, & Zhang, 2023). Efektivitas pembekuan dalam mempertahankan mutu sensori sangat dipengaruhi oleh laju pembekuan dan kestabilan suhu penyimpanan (Dawson, Al-Jeddawi, & Rieck, 2020; Pérez-Bermúdez et al., 2023). Selain itu, stabilitas suhu penyimpanan juga berperan penting. Fluktuasi suhu selama penyimpanan dapat memicu rekristalisasi, yang menyebabkan penurunan mutu sensori dan tekstur (Grover & Negi, 2023). Untuk menguji stabilitas sampel, metode *freeze-thaw* dilakukan pada semua fraksi sampel (Zhu et al., 2021). Semua

fraksi sampel dikeluarkan dari lemari pendingin dan dibiarkan mencair di suhu ruang (Ariyaprakai, 2022). Setiap tiga hari (± 72 jam), satu fraksi MCW-ice dari setiap sampel diambil dan dibiarkan mencair secara alami pada suhu ruang untuk memastikan kualitasnya. Uji sensoris sederhana dilakukan pada akhir siklus untuk menilai perubahan warna, aroma, dan rasa. Berikut hasil uji sensori dari kelompok sampel dalam tiga siklus *freeze-thaw*.

Gambar 1. Perubahan Kualitas Sensori MCW Selama Siklus *Freeze-thaw*



Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa semua sampel dengan perlakuan pasteurisasi tidak mengalami perubahan sensori meskipun telah mengalami siklus *freeze-thaw* selama tiga kali. Hal ini menunjukkan bahwa MCW yang telah dipasteurisasi relatif stabil meskipun dalam penyimpanan bekunya mengalami tiga kali perubahan suhu (pencairan). Adapun sampel kontrol menunjukkan penurunan mutu setelah terpapar suhu ruangan, tepatnya pada siklus *freeze-thaw* yang ketiga. Ini menyiratkan bahwa MCW tanpa pasteurisasi tidak disarankan untuk dikonsumsi jika sudah terlanjur terpapar suhu ruang.

Kestabilan sampel yang melalui proses pasteurisasi disebabkan karena pasteurisasi membantu menurunkan beban mikroba sehingga mengurangi risiko penyakit dan fermentasi yang tidak diinginkan (Adubofuor

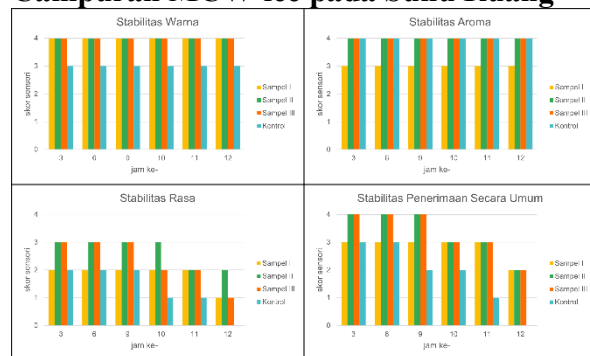
et al., 2016). Hal ini menyebabkan perlakuan pasteurisasi dapat membantu memperpanjang umur simpan berdasarkan batas mikrobiologi (Chantakun et al., 2022). Selain itu, pasteurisasi juga mengurangi aktivitas enzim PPO dan POD. POD biasanya lebih mudah dan lebih cepat inaktif dibanding PPO (Sanganamoni, Mallesh, Vandana, & Srinivasa Rao, 2017). Kombinasi antara pasteurisasi dan penyimpanan beku merupakan strategi sinergis yang bertujuan memanfaatkan keunggulan masing-masing metode. Perlakuan pasteurisasi memberikan keuntungan dalam meminimalkan mikroba dan enzim sehingga penyimpanan dingin atau beku menjadi lebih efektif dalam mempertahankan mutu selama *shelf-life* produk cair (Wurlitzer et al., 2019). Pasteurisasi secara signifikan mengubah sensori awal sehingga kombinasi pasteurisasi diikuti oleh penyimpanan beku dapat mempertahankan profil sensorik yang dapat diterima untuk beberapa bulan penyimpanan jika langkah-langkah pengendalian diterapkan (Giavoni et al., 2022). Oleh karena itu, pendekatan dua-tahap dengan pasteurisasi dilanjutkan pembekuan, memberikan keseimbangan antara keamanan mikrobiologis dan pelestarian kualitas sensori, asalkan parameter proses dan rantai dingin dikontrol dengan baik.

Pada penelitian, sampel hanya melalui tiga kali siklus *freeze-thaw* dengan total waktu simpan 10 hari sebelum digunakan lebih lanjut, meskipun tidak menunjukkan penurunan kualitas sensori yang signifikan. Hal ini karena penelitian tidak merekomendasikan perlakuan siklus *freeze-thaw* di kehidupan nyata. Siklus *freeze-thaw* berulang dapat menyebabkan seleksi komunitas mikroba menuju galur yang lebih tahan stres (Ivaškė, Jakubovskis, Boris, & Urbonavičius, 2024; Lou et al., 2023; Park & Kim, 2024). Oleh karena itu, untuk praktik

komersial nantinya, yang direkomendasikan adalah meminimalkan siklus *freeze-thaw*.

Setelah tiga kali siklus, tersisa tiga fraksi beku MCW-ice untuk setiap sampel. Kemudian, untuk melihat pengaruh MCW-ice terhadap cita rasa pada produk makanan lain, MCW-ice ditambahkan sebagai bahan pelengkap campuran buah dan susu cair. Tujuannya untuk melihat pengaruh MCW-ice terhadap sensori dan umur simpan produk makanan lain. Satu bagian campuran dengan masing-masing sampel MCW-ice ditempatkan di suhu ruang, sebagaimana masyarakat umumnya menempatkan produk yang akan segera dikonsumsi di atas meja. Berikut hasil uji sensori dari kelompok campuran yang ditempatkan di suhu ruang.

Gambar 2. Perubahan Kualitas Sensori Campuran MCW-ice pada Suhu Ruang



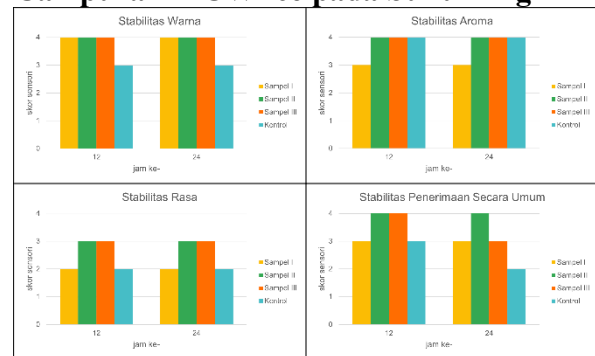
Berdasarkan gambar 2, terlihat bahwa pada MCW-ice dengan perlakuan pasteurisasi 80–85°C selama 5 menit, mulai mengalami penurunan mutu pada jam ke-12. Sementara MCW-ice dengan perlakuan pasteurisasi 72–75°C selama 15 menit dan 30 detik, sama-sama mulai mengalami penurunan mutu pada jam ke-11. Adapun kelompok kontrol mengalami penurunan mutu sejak jam ke-10 sehingga pada jam ke-11 sudah dihentikan perlakuannya.

Satu bagian campuran lain dengan masing-masing sampel MCW-ice ditempatkan di suhu dingin, sebagaimana masyarakat umumnya menempatkan produk yang belum akan dikonsumsi di dalam lemari

pendingin. Hasil uji sensori dari kelompok campuran yang ditempatkan di suhu lemari pendingin ditunjukkan dalam gambar 3.

Berdasarkan gambar 3, terlihat bahwa semua campuran dengan MCW-ice yang diberi perlakuan pasteurisasi tidak mengalami penurunan mutu meskipun disimpan selama 24 jam. Penurunan mutu hanya teridentifikasi pada campuran dengan MCW-ice kontrol yang tidak diberi perlakuan pasteurisasi.

Gambar 3. Perubahan Kualitas Sensori Campuran MCW-ice pada Suhu Dingin



Penurunan mutu kemungkinan disebabkan oleh paparan mikroba dari luar, juga oleh aktivitas enzimatik. Pasteurisasi dapat mematikan mikroba sehingga jika terdapat perkembangan mikroba setelah sampel terpapar udara luar, itu sangat mungkin disebabkan oleh kontaminasi udara luar. Selain itu, pasteurisasi memang menurunkan aktivitas enzimatik pada air kelapa, tetapi belum tentu menolak. Efeknya bergantung kuat pada jenis enzim, suhu, lama pemanasan, dan apakah dipakai metode konvensional atau gabungan dengan teknologi lain (Kanjapongkul & Baibua, 2021). POD umumnya lebih mudah dinonaktifkan daripada PPO. Banyak studi melaporkan bahwa POD dapat dieliminasi pada perlakuan panas sedang–tinggi, sementara PPO seringkali memiliki fraksi yang tahan panas sehingga masih menyisakan aktivitas setelah pasteurisasi biasa (Bulhões Bezerra Cavalcante, Santos Funcia, & Wilhelms Gut, 2021; Chourio, Salais-Fierro,

Mehmood, Martinez-Montegudo, & Saldaña, 2018). Metode non-konvensional atau gabungan teramati lebih efektif untuk menonaktifkan enzim sambil meminimalkan kerusakan sensorik (Basak, Jha, & Chakraborty, 2023; Chourio et al., 2018; Poça D'Água, Silva, Oliveira, & Petrus, 2024). Namun, target pengolahan dalam penelitian ini adalah metode sederhana yang dapat diterapkan skala rumah tangga. PPO sebenarnya ditemukan hampir sepenuhnya diinhibisi (~95% inaktivasi) pada 85-90°C selama 10 menit (Sanganamoni et al., 2017). Tetapi perlakuan panas ini dapat mengurangi kualitas nutrisi dan sensorik (Kanjapongkul & Baibua, 2021; Poça D'Água et al., 2024).

Tujuan dalam penelitian ini bukan hanya membunuh mikroba, tetapi juga menjaga warna, aroma, dan rasa agar perubahan seminimal mungkin. Dibandingkan dengan MCW-ice tanpa perlakuan pasteurisasi, ternyata dapat mempertahankan sensori campuran buah dan susu cair lebih dari 6 jam pada suhu ruang. Meskipun demikian, karena tidak dilakukan pengujian laboratorium lebih lanjut terhadap semua sampel, maka perlu diperhatikan bahwa penurunan mutu mungkin terjadi lebih cepat tetapi tidak terdeteksi akibat pengaruh sensori lain dari campuran tersebut. Namun secara umum, hasil ini membuktikan bahwa perlakuan pasteurisasi dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme dan memperlambat aktivitas enzim yang bisa merusak komponen air kelapa, menyebabkan umur simpan produk menjadi lebih lama. Produk yang dipasteurisasi bisa disimpan lebih lama, terutama jika dibekukan, dibandingkan dengan air kelapa segar. Berdasarkan hasil yang teramati, diketahui bahwa perlakuan pasteurisasi yang disarankan terhadap umur simpan dan perubahan rasa adalah pada rentang suhu 72–75°C selama 30 detik, dimana sangat memungkinkan dapat

bertahan lebih dari 10 hari dalam keadaan beku. Pada hasil studi *Optimum Physico-Chemical and Processing Parameters for the Preservation of King Coconut water*, kondisi pasteurisasi bahkan mampu menjaga keamanan mikrobiologi hingga 8 minggu bahkan hanya dengan penyimpanan dingin (Gunathilake & Rathnayake, 2012).

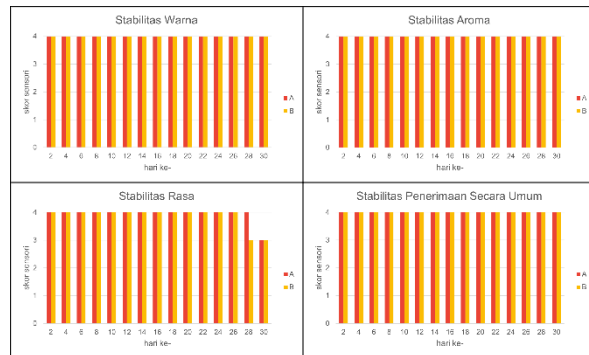
Pengaruh *Vacuum-sealing* terhadap Umur Simpan dan Karakteristik Sensori MCW-ice

Penyimpanan beku sebagaimana telah dibahas pada bagian sebelumnya, telah menunjukkan kemampuannya dalam memperpanjang umur simpan sekaligus mempertahankan sifat sensori dari MCW. Dengan fokus penelitian pada metode sederhana yang dapat dengan mudah diadopsi oleh UMKM dan masyarakat lokal tanpa ketergantungan pada teknologi tinggi, tetapi tetap menghasilkan peluang ekonomi yang menjanjikan serta mendukung keberlanjutan lingkungan, maka perlu diperhatikan faktor pengemasan. Untuk meningkatkan nilai komersial, produk MCW-ice perlu dikemas dalam kemasan yang lebih baik. MCW yang dibekukan dalam wadah ice-cube menjadi MCW-cube, dapat lebih mempertahankan umur simpan dan kualitas sensorinya dengan menggunakan *vacuum-sealing*. Metode *vacuum-sealing* secara umum dipercaya dapat memperpanjang umur simpan produk. Meskipun belum ada literatur yang secara eksplisit membahas pengaruh *vacuum-sealing* terhadap produk beku air kelapa tua, bahkan air kelapa pada umumnya sekalipun, pengaruhnya telah terbukti pada banyak produk beku lainnya. Film *vacuum-seal* dapat membantu memperlambat efek buruk yang disebabkan oleh penyimpanan beku pada daging beku (Wagoner et al., 2022). *Vacuum-sealing* yang dikombinasikan dengan

perlakuan pembekuan lebih baik daripada pembekuan secara individual dengan pengawetan ikan jangka panjang (Aberoumand & Baesi, 2020). MCW-ice yang telah beku dipindahkan ke dalam plastik khusus untuk divacum dan discaler kemudian disimpan kembali ke dalam lemari pembeku. Fraksi MCW-cube dalam *vacuum-seal* diuji sensori setiap dua hari dengan dua keadaan, yaitu diuji dalam keadaan beku (Kode A) dan dalam keadaan mencair sepenuhnya (Kode B). Hasilnya seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Berdasarkan gambar 4, terlihat bahwa selama 15 kali pengujian, atau selama 30 hari, tidak ada perubahan sensori signifikan pada fraksi sampel. Ini menunjukkan bahwa metode *vacuum-sealing* dapat mempertahankan kualitas sensori MCW-ice dengan umur simpan yang relatif lama.

Gambar 4. Perubahan Kualitas Sensori MCW-cube dalam Vacuum-Seal



Sayangnya, belum ada studi yang jelas dan peer-review yang secara eksklusif membahas *vacuum-sealing* pada air kelapa beku (*frozen coconut water*) sebagai perlakuan tersendiri, yang dapat ditemukan, sehingga klaim ini tidak mendapat dukungan dari referensi lain. Klaim ini hanya dapat didukung oleh literatur tentang *vacuum-sealing* pada produk lain. Beberapa penelitian pada produk beku cair atau produk pangan beku menunjukkan prinsip yang berkorelasi dengan air kelapa. Pada studi produk ikan dan daging, *vacuum* mengurangi oksidasi selama

penyimpanan beku, dengan menghilangkan oksigen di dalam kemasan, reaksi oksidatif pada produk dan degradasi komponen sensori menjadi melambat (Aberoumand & Baesi, 2020; Wagoner et al., 2022). Vacuum dapat mengurangi perkembangan kristal es yang merusak (microstructure) pada fillet salmon (Kaale, Eikevik, Bardal, & Kjorsvik, 2013). Prinsip ini relevan untuk cairan karena perubahan struktur es mempengaruhi tekstur saat mencair. Beberapa studi menunjukkan bahwa *vacuum-sealing* dapat mempertahankan profil aroma lebih baik selama penyimpanan beku dibanding kemasan yang bocor atau beroksigen (Sospeter, Ding, Fang, Misran, & Abas, 2025; Wagoner et al., 2022). Hal ini relevan untuk air kelapa di mana aroma penting untuk sensorik. Dengan menggabungkan kedua metode tersebut, yaitu membekukan produk cair kemudian memindahkannya ke *vacuum-seal*, dapat diperoleh manfaat sinergis sebagai langkah pelindung dalam penyimpanan panjang. Kombinasi ini memungkinkan pengurangan perubahan sensori yang disebabkan oleh oksidasi karena oksigen dalam kemasan dikurangi serta suhu beku menjaga stabilitas fisik dan biokimia. Literatur mengenai produk beku menunjukkan bahwa *vacuum-seal* setelah pembekuan dapat mempertahankan warna, rasa, aroma, dan keseluruhan penerimaan sensorik yang lebih tinggi dibanding kemasan *non-vacuum* (Aberoumand & Baesi, 2020; Rafsanjani, Daneshi, & Shakerardekani, 2018).

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh kombinasi pasteurisasi, pembekuan, dan *vacuum-sealing* terhadap mutu organoleptik dan umur simpan air kelapa tua (MCW). Hasil penelitian menunjukkan

bahwa perlakuan pasteurisasi efektif memperpanjang umur simpan tanpa mengubah karakteristik sensoris secara signifikan. Suhu pasteurisasi optimal terhadap umur simpan adalah kisaran 80–85°C selama 5 menit, namun mempengaruhi sensori secara signifikan. Sementara perlakuan pasteurisasi pada rentang suhu 72-75°C selama 15 menit dan 30 detik mempertahankan umur simpan dengan durasi yang relatif sama. Namun, perlakuan pasteurisasi antara 72-75°C selama 30 detik mengamankan kualitas sensori lebih baik. Sehingga, hasil yang menyeimbangkan antara lama umur simpan dan kestabilan sensori yang direkomendasikan adalah perlakuan pasteurisasi 72-75°C selama 30 detik. Pasteurisasi dikombinasikan dengan pembekuan dapat memperpanjang umur simpan MCW dengan kualitas sensori yang stabil meskipun melalui beberapa siklus *freeze-thaw*. *Vacuum-sealing* juga terbukti menjaga kualitas selama penyimpanan beku hingga 30 hari, dengan meminimalkan oksidasi dan perubahan warna.

Secara keseluruhan, kombinasi tiga perlakuan ini efektif mempertahankan mutu organoleptik dan memperpanjang umur simpan MCW dengan metode yang sederhana dan aplikatif bagi UMKM berbasis kelapa. Penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi pemanfaatan limbah air kelapa tua secara berkelanjutan, mendukung penerapan prinsip *zero waste*, serta membuka peluang inovasi produk pangan fungsional yang bernilai ekonomi tinggi dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aba, R. P. M., Luna, M. B. Z., Villasis, J. C., & Ching, A. A. A. (2024). Characterization of mature coconut (*Cocos nucifera* L.) water from different varieties. *Food and Humanity*, 2, 100248. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2024.100248>
- Aberoumand, A., & Baesi, F. (2020). Effects of vacuum packaging in freezer on oxidative spoilage indexes of fish *Lethrinus atkinsoni*. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4145–4150. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1704>
- Adubofuor, J., Amoah, I., & Osei-Bonsu, I. (2016). Sensory and Physicochemical Properties of Pasteurized *Coconut water* from Two Varieties of Coconut. *Food Science and Quality Management*, 54(0), 26–32. Retrieved from <https://iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/32478>
- Ariyaprakai, S. (2022). Freeze Thaw Stability and Heat Stability of Coconut Oil-in-Water Emulsions and Coconut Milk Emulsions Stabilized by Enzyme-Modified Soy Lecithin. *Food Biophysics*, 17, 557–567. <https://doi.org/10.1007/s11483-021-09711-w>
- Azra, J. M., Setiawan, B., Nasution, Z., Sulaeman, A., & Estuningsih, S. (2023). Nutritional Content and Benefits of *Coconut water* for the Diabetes Metabolism: a Narrative Review. *Amerta Nutrition*, 7(2), 317–325. <https://doi.org/10.20473/AMNT.V7I2.2023.317-325>
- Basak, S., Jha, T., & Chakraborty, S. (2023). Pasteurization of tender *coconut water* by pulsed light treatment: Microbial safety, enzymatic inactivation, and impact on physicochemical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103302. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2023.103302>
- Bulhões Bezerra Cavalcante, T. A., Santos Funcia, E. dos, & Wilhelms Gut, J. A. (2021). Inactivation of polyphenol oxidase by microwave and conventional heating: Investigation of thermal and non-thermal

- effects of focused microwaves. *Food Chemistry*, 340, 127911. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127911>
- Chantakun, K., Nilsuwan, K., Sumpavapol, P., Huda, N., & Benjakul, S. (2022). Effect of ultraviolet-C radiation and pasteurization on quality and shelf life of refrigerated tender *coconut water* fortified with edible bird's nest protein hydrolysate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), e16870. <https://doi.org/10.1111/JFPP.16870>
- Chourio, A. M., Salais-Fierro, F., Mehmood, Z., Martinez-Monteaquedo, S. I., & Saldaña, M. D. A. (2018). Inactivation of peroxidase and polyphenoloxidase in *coconut water* using pressure-assisted thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 49, 41–50. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2018.07.014>
- Dawson, P., Al-Jeddawi, W., & Rieck, J. (2020). The Effect of Different Freezing Rates and Long-Term Storage Temperatures on the Stability of Sliced Peaches. *International Journal of Food Science*, 2020(1), 9178583. <https://doi.org/10.1155/2020/9178583>
- Detudom, R., Deetae, P., Wei, H., Boran, H., Chen, S., Siriamornpun, S., & Prakitchaiwattana, C. (2023). Dynamic Changes in Physicochemical and Microbiological Qualities of *Coconut water* during Postharvest Storage under Different Conditions. *Horticulturae*, 9(12), 1284. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE9121284/S1>
- Giavoni, M., Villanueva-Suárez, M. J., Peña-Armada, R. D. la, Garcia-Alonso, A., & Mateos-Aparicio, I. (2022). Pasteurization Modifies the Sensorial Attributes and Nutritional Profile of Orange Pulp By-Product. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 1973, 11(13), 1973. <https://doi.org/10.3390/FOODS11131973>
- Grover, Y., & Negi, P. S. (2023). Recent developments in freezing of fruits and vegetables: Striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates. *Journal of Food Science*, 88(12), 4799–4826. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16810>
- Gunathilake, K. D. P. P., & Rathnayake, R. M. C. N. (2012). Optimum Physico-Chemical and Processing Parameters for the Preservation of King *Coconut water*. *CORD*, 28(1), 1–8. <https://doi.org/10.37833/CORD.V28I1.104>
- Hasnawati, Sutiharni, Deswarni, D., Jasiah, & Febrina, W. (2023). Pemanfaatan limbah air kelapa untuk industri kecil di Pedesaan. *Masyarakat Berdaya Dan Inovasi*, 4(2), 160–168. <https://doi.org/10.33292/MAYADANI.V4I2.116>
- Ivaškė, A., Jakubovskis, R., Boris, R., & Urbonavičius, J. (2024). Effects of Low Temperature, Freeze–thaw Cycles, and Healing Conditions on Viability of Non-Ureolytic Bacteria in Biological Self-Healing Concrete. *Materials* 2024, Vol. 17, Page 5797, 17(23), 5797. <https://doi.org/10.3390/MA17235797>
- Jayawardena, J. A. E. C., Vanniarachchy, M. P. G., & Wansapala, M. A. J. (2020). Progressive Freeze Concentration of *Coconut water* and Use of Partial Ice Melting Method for Yield Improvement. *International Journal of Food Science*, 2020(1), 4292013. <https://doi.org/10.1155/2020/4292013>

- Jusoh, M., Mohamed Nor, N. N., & Yamani Zakaria, Z. (2014). Progressive Freeze Concentration of *Coconut water*. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 67(2), 45–49. <https://doi.org/10.11113/JT.V67.2734>
- Kaale, L. D., Eikevik, T. M., Bardal, T., & Kjorsvik, E. (2013). A study of the ice crystals in vacuum-packed salmon fillets (Salmon salar) during superchilling process and following storage. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 20–25. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2012.09.014>
- Kailaku, S. I., Setiawan, B., & Sulaeman, A. (2017). The Shelf Life Estimation of Cold Sterilized *Coconut water*. *PLANTA TROPIKA*, 5(1), 62–69. <https://doi.org/10.18196/PT.2017.072.62-69>
- Kan, J., Wang, Y., Song, F., Zhang, J., & Zhang, Y. (2023). Effect of Frozen Periods on Volatile Flavor Compounds of *Coconut water* Based on GC-IMS and Chemometrics Analysis. *Science and Technology of Food Industry*, 44(19), 329–335. <https://doi.org/10.13386/J.ISSN1002-0306.2022110273>
- Kanjanapongkul, K., & Baibua, V. (2021). Effects of ohmic pasteurization of *coconut water* on polyphenol oxidase and peroxidase inactivation and pink discoloration prevention. *Journal of Food Engineering*, 292, 110268. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2020.110268>
- Li, T., Kuang, S., Xiao, T., Hu, L., Nie, P., Ramaswamy, H. S., & Yu, Y. (2022). The Effect of Pressure–Shift Freezing versus Air Freezing and Liquid Immersion on the Quality of Frozen Fish during Storage. *Foods 2022, Vol. 11, Page 1842, 11(13)*, 1842. <https://doi.org/10.3390/FOODS11131842>
- Lou, Z., Xu, H., Xia, L., Lin, W., Dai, Z., & Wang, X. (2023). Enhanced freeze-thaw cycles facilitate the antibiotic resistance proliferation and dissemination risk under global climate change. *Process Safety and Environmental Protection*, 175, 119–128. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2023.04.048>
- Ma, F., Wang, W. Y., Wang, W., Cai, K. Z., Shang, Y. F., Chen, C. G., & Xu, B. C. (2020). Effects of water-immersion cooling temperatures on the moisture retention of sodium-reduced pork sausages. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2516–2523. <https://doi.org/10.1007/S13197-020-04287-8/METRICS>
- Ma, Y., Xu, L., Wang, S., Xu, Z., Liao, X., & Cheng, Y. (2019). Comparison of the quality attributes of *coconut waters* by high-pressure processing and high-temperature short time during the refrigerated storage. *Food Science & Nutrition*, 7(4), 1512–1519. <https://doi.org/10.1002/FSN3.997>
- Pandiselvam, R., Prithviraj, V., Manikantan, M. R., Beegum, P. P. S., Ramesh, S. V., Kothakota, A., ... Socol, C. T. (2022). Dynamics of biochemical attributes and enzymatic activities of pasteurized and bio-preserved tender *coconut water* during storage. *Frontiers in Nutrition*, 9, 977655. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.977655/BIBTEX>
- Park, M. H., & Kim, M. (2024). Effects of Thawing Conditions on the Physicochemical and Microbiological Quality of Thawed Beef. *Preventive Nutrition and Food Science*, 29(1), 80–86. <https://doi.org/10.3746/PNF.2024.29.1.80>

- Pérez-Bermúdez, I., Castillo-Suero, A., Cortés-Inostroza, A., Jeldrez, C., Dantas, A., Hernández, E., ... Petzold, G. (2023). Observation and Measurement of Ice Morphology in Foods: A Review. *Foods* 2023, Vol. 12, Page 3987, 12(21), 3987. <https://doi.org/10.3390/FOODS12213987>
- Petruzzi, L., Campaniello, D., Speranza, B., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., & Bevilacqua, A. (2017). Thermal Treatments for Fruit and Vegetable Juices and Beverages: A Literature Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4), 668–691. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12270>
- Poça D'Água, A. Z., Silva, P. A. da, Oliveira, A. L. de, & Petrus, R. R. (2024). Enzymic Deactivation in Tender *Coconut water* by Supercritical Carbon Dioxide. *Processes* 2024, Vol. 12, Page 1071, 12(6), 1071. <https://doi.org/10.3390/PR12061071>
- Rafsanjani, N. D., Daneshi, M., & Shakerardekani, A. (2018). Effect of Freezing and Vacuum Packaging on Quality Properties of Pistachio Powder During Storage. *Journal of Nuts*, 9(2), 169. <https://doi.org/10.22034/JON.2018.54299>
- Sanganamoni, S., Mallesh, S., Vandana, K., & Srinivasa Rao, P. (2017). Thermal Treatment of Tender *Coconut water* – Enzyme Inactivation and Biochemical Characterization. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 2919–2931. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2017.6.05.331>
- Shi, S., Wang, W., Wang, F., Yang, P., Yang, H., He, X., & Liao, X. (2025). Research Progress in *Coconut water*: A Review of Nutritional Composition, Biological Activities, and Novel Processing Technologies. *Foods* 2025, Vol. 14, Page 1503, 14(9), 1503. <https://doi.org/10.3390/FOODS14091503>
- Sospeter, E., Ding, P., Fang, T. H., Misran, A., & Abas, F. (2025). Long-term frozen storage affects the volatile compound profile, physicochemical and antioxidant content of vacuum-packed Musang King durian fruit. *Journal of Food Science*, 90(3), e70118. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70118>
- Syahfitri, T., Susanti, S. N., Fajriansyah, M., Suhardian, F., Juliana, A., & Karlinda Sari, D. (2022). PEMANFAATAN AIR KELAPA UNTUK PEMBUATAN KECAP TERHADAP PENINGKATAN PEREKONOMIAN MASYARAKAT DESA MUMPA PASCA COVID-19. *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, 8(3), 224–230. <https://doi.org/https://doi.org/10.47521/selodangmayang.v8i3.267>
- Tan, T. C., Cheng, L. H., Bhat, R., Rusul, G., & Easa, A. M. (2014). Composition, physicochemical properties and thermal inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase from coconut (*Cocos nucifera*) water obtained from immature, mature and overly-mature coconut. *Food Chemistry*, 142, 121–128. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.07.040>
- Wagoner, M. P., Reyes, T. M., Zorn, V. E., Coursen, M. M., Corbitt, K. E., Wilborn, B. S., ... Sawyer, J. T. (2022). Vacuum Packaging Maintains Fresh Characteristics of Previously Frozen Beef Steaks during Simulated Retail Display. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 3012, 11(19), 3012. <https://doi.org/10.3390/FOODS11193012>
- Winarno, F. Gregorius. (2015). *Kelapa pohon kehidupan*. Gramedia Pustaka Utama. Retrieved from

https://books.google.com/books/about/Kelapa_Pohon_Kehidupan.html?hl=id&id=uLY8DwAAQBAJ

- Wu, Z., Ma, W., Xian, Z., Liu, Q., Hui, A., & Zhang, W. (2021). The impact of quick-freezing methods on the quality, moisture distribution and microstructure of prepared ground pork during storage duration. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105707. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105707>
- Wurlitzer, N. J., Dionísio, A. P., Lima, J. R., Garruti, D. dos S., Silva Araújo, I. M. da, da Rocha, R. F. J., & Maia, J. L. (2019). Tropical fruit juice: effect of thermal treatment and storage time on sensory and functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(12), 5184. <https://doi.org/10.1007/S13197-019-03987-0>
- Yewle, N. R., Stroshine, R. L., Ambrose, R. P. K., & Baributsa, D. (2024). Hermetic Bags: A Short-Term Solution to Preserve High-Moisture Maize during Grain Drying. *Foods*, 13(5), 760. <https://doi.org/10.3390/FOODS13050760/S1>
- Zahra Al Banna, N., Ilmiyah, N., & Khairunnisa. (2023). Pemanfaatan Limbah Air Kelapa Tua Sebagai Zat Pengatur Tumbuh Alami Pertumbuhan Sawi (*Brassica juncea* L.). *Al Kawnu : Science and Local Wisdom Journal*, 3(1), 11–20. <https://doi.org/10.18592/AK.V3I1.8826>
- Zhu, L., Liang, X., Lu, Y., Tian, S., Chen, J., Lin, F., & Fang, S. (2021). Effect of freeze-thaw cycles on juice properties, volatile compounds and hot-air drying kinetics of blueberry. *Foods*, 10(10), 2362. <https://doi.org/10.3390/FOODS10102362/S1>
- Zia, H., Slatnar, A., Košmerl, T., & Korošec, M. (2024). A review study on the effects of thermal and non-thermal processing techniques on the sensory properties of fruit juices and beverages. *Frontiers in Food Science and Technology*, 4, 1405384. <https://doi.org/10.3389/FRFST.2024.1405384/FULL>