



REVIEW: EFEK TEKNOLOGI PENGOLAHAN TERMAL DAN NON-TERMAL TERHADAP ALPUKAT (*Persea americana*)

[Review: Effects of Thermal and Non-Thermal Processing Technologies on Avocado (*Persea americana*)]

Uray Ulfah Nabilah^{1*}, Sulha Rahmi Oktaviani¹, Andi Dahlan²

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Pontianak

²Program Studi Gizi, Institut Teknologi dan Kesehatan Avicenna, Kendari

*Email: urayurayulfahnabilah@faperta.untan.ac.id

Diterima Tanggal 16 Mei 2025

Disetujui Tanggal 9 Juni 2025

ABSTRACT

Avocado (*Persea americana*) contains high nutritional value and valuable, but its shelf life is limited due to microbial and enzymatic activity. Thermal and non-thermal processing technologies have been applied to extend shelf life and enhance the added value of avocado-based products. This review aims to provide an overview of the effects of various thermal (sterilization, pasteurization, blanching, and drying) and non-thermal (high pressure processing (HPP), irradiation, and pulsed light) processing methods on the quality characteristics of avocado. Thermal processing requires precise temperature–time combinations to preserve nutritional and sensory quality. Non-thermal technologies show greater potential in maintaining organoleptic properties similar to those of fresh fruit. Available studies indicate that non-thermal avocado processing remains largely limited to pasteurization. Both thermal and non-thermal methods have been shown to effectively inhibit microbial growth, preserve physical quality, and extend avocado shelf life compared to untreated fruit. This review is expected to serve as a reference in selecting appropriate processing technologies for the development of avocado-based products.

Keywords: Avocado, processing, thermal, non-thermal

ABSTRAK

Alpukat (*Persea americana*) memiliki kandungan nutrisi yang tinggi dan harga jual yang relatif tinggi, tetapi umur simpannya terbatas akibat aktivitas mikrobiologis dan enzimatis. Teknologi pengolahan termal dan non-termal telah diterapkan untuk memperpanjang masa simpan dan meningkatkan nilai tambah produk olahannya. Artikel ulasan ini bertujuan memberikan gambaran terkait pengaruh berbagai metode pengolahan termal (sterilisasi, pasteurisasi, blanching, dan pengeringan) serta non-termal (*high pressure processing* (HPP), iradiasi, dan *pulsed light*) terhadap karakteristik mutu alpukat. Pengolahan termal memerlukan kombinasi suhu dan waktu yang tepat untuk mempertahankan kualitas gizi dan sensorik. Teknologi non-termal menunjukkan potensi lebih baik dalam menjaga sifat organoleptik yang menyerupai buah segar. Studi yang tersedia menunjukkan bahwa sebagian besar pengolahan non-termal masih terbatas pada metode pasteurisasi. Baik pengolahan termal maupun non-termal terbukti mampu menghambat pertumbuhan mikroba, menjaga kualitas fisik, serta memperpanjang umur simpan alpukat dibandingkan dengan buah segar tanpa perlakuan. Ulasan ini diharapkan menjadi acuan dalam pemilihan teknologi pengolahan yang tepat untuk pengembangan produk berbasis alpukat.

Kata kunci: alpukat, pengolahan, termal, non termal



PENDAHULUAN

Alpukat memiliki tekstur lembut, rasa creamy dan mengandung nutrisi tinggi sehingga banyak digemari oleh berbagai kalangan. Alpukat mengandung lemak tidak jenuh sekitar 85%. Asupan nutrisi harian sebesar 30% folat, 30% vitamin K dan 45% asam pantotenat dapat dipenuhi dengan mengonsumsi satu buah alpukat Hass berukuran sedang. Asam folat dibutuhkan tidak hanya bagi ibu hamil, tapi juga untuk pasien radang usus, penanganan mortalitas, kanker, kardiovaskular, dan masalah neurologis lainnya (Ford *et al.*, 2023). Varietas alpukat yang dapat ditemukan di Indonesia seperti alpukat mentega, alpukat Vienna, alpukat Miki, alpukat Hass, alpukat Mega Merapi, dan alpukat Kendil (Puspitasari *et al.*, 2023). Harga jual alpukat juga relatif tinggi di beberapa wilayah Indonesia, kisaran harga jika petani langsung menjual ke konsumen untuk alpukat lokal mulai dari Rp 15.000 - Rp 25.000/kg, sedangkan kualitas premium mulai dari Rp 30.000 – Rp 50.000/kg (Mustaha *et al.*, 2023).

Namun, alpukat sangat rentan mengalami kerusakan akibat perubahan suhu penyimpanan. Kerusakan alpukat seperti busuk ujung tangkai, bercak coklat kehitaman (Ramírez-Gil *et al.*, 2021), bercak coklat kecil (kerusakan lenticel) (Everett *et al.*, 2008), bercak coklat akibat *chilling injury* (Pachón *et al.*, 2022), dan tonjolan dan lekukan akibat hama (Dupont, 1993). Kerusakan alpukat yang umum terjadi yaitu akibat aktivitas oksidasi enzimatis (Toledo dan Aguirre, 2017), mikrobial (Tenea *et al.*, 2024), dan mekanis (Pachón *et al.*, 2022). Apabila alpukat mengalami benturan atau gangguan pada sel akan menyebabkan enzim PPO dan substratnya (senyawa fenolik) keluar dari jaringan sehingga akan membentuk o-kuinon yang mengarah pada polimerisasi yang dapat menyebabkan terbentuknya pigmen coklat (Weemaes *et al.*, 1999). Tekstur alpukat yang lembut sangat berisiko terjadi kerusakan mekanis. Penampilan visual alpukat yang tidak umum akan menurunkan nilai jual, sehingga alpukat dapat diproses lebih lanjut agar meningkatkan nilai jual. Proses pengolahan alpukat menjadi produk olahan seperti alpukat slice, pure yang dibekukan ataupun tanpa pembekuan, dan jus alpukat adalah cara pengolahan dalam rangka memitigasi alpukat agar dapat memiliki umur simpan lebih panjang dan memiliki nilai lebih.

Pada umumnya proses pengolahan alpukat menggunakan proses termal. Baru-baru ini telah diterapkan pula teknologi non termal, keduanya dapat meminimalisir penggunaan bahan tambahan pangan sintesis dalam produk. Teknologi termal yang umum digunakan seperti sterilisasi, blanching (untuk produk alpukat cubes atau slice), pasteurisasi (untuk produk liquid, pulp, atau pure), serta pengeringan. Namun proses pengolahan secara termal diduga dapat menyebabkan perubahan secara sensori, fisik, dan nutrisi yang ada dalam alpukat secara signifikan jika dibanding dengan proses non termal (Valle-Gómez *et al.*, 2024). Berdasarkan studi yang telah ada diketahui teknologi Non-termal dapat menghasilkan produk dengan umur simpan yang panjang, namun minim degradasi kualitas sensori, fisik, dan nutrisi (Allai *et al.*, 2023; Nabilah dan Oktaviani 2024). Contohnya pada studi sebelumnya tentang HPP dimana menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan pada atribut sensorik antara sampel yang tidak diproses dan sampel HPP, meskipun skor aroma dan penerimaan menurun secara signifikan untuk smoothie



yang dipasteurisasi secara termal (Sarantakou *et al.*, 2023). Riset pengolahan alpukat dengan teknologi non termal yang telah dilakukan seperti penggunaan *high pressure processing* (HPP), *pulse light* (PL), dan *iradiasi*. Informasi dampak perubahan fisik dan kimia akibat proses termal dan non termal pada pengolahan alpukat dapat berguna sebagai referensi dalam memilih proses pengolahan produk alpukat. Olehkarenanya review ini bertujuan membahas mengenai dampak pengolahan alpukat menggunakan teknologi termal dan non termal.

PROSES TERMAL

Pengolahan Alpukat Dengan Sterilisasi

Sterilisasi termal bertujuan menginaktivasi mikroba patogen dan pembusuk untuk menjamin keamanan dan meningkatkan umur simpan. Walaupun efektif dalam menginaktivasi mikroba pembusuk seperti spora, proses sterilisasi secara termal memiliki kekurangan, seperti penurunan nutrisi dan kualitas sensorik. Sebagai upaya untuk mengatasi panas yang ekstrim, dilakukan optimalisasi waktu dan suhu proses sterilisasi (Tokur dan Korkmaz 2019). Alat yang digunakan pada proses sterilisasi adalah retort, yang menggunakan suhu dan tekanan tinggi (Rocha 2023). Proses kinetika inaktivasi mikroba melibatkan prinsip-prinsip perpindahan panas untuk memastikan pemanasan yang seragam dan sterilitas di seluruh produk (Duarte Augusto *et al.*, 2014).

Target utama dari sterilisasi adalah spora *Clostridium botulinum*. Proses ini bertujuan untuk memastikan keamanan pangan dengan mencapai pengurangan 12 log, yang dikenal sebagai konsep 12D. Konsep 12D adalah standar dalam sterilisasi termal, yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan spora *Clostridium botulinum* yang hidup dengan kemungkinan 10^{-12} (Deák, 2014). Suhu yang lebih tinggi dapat dengan cepat menurunkan jumlah mikroba namun perlu diperhatikan agar tidak menurunkan kualitas makanan (Serment-Moreno dan Welti-Chanes 2016).

Sterilisasi produk alpukat masih terbatas, hal ini dapat dikarenakan pengolahan dengan panas tinggi dapat menyebabkan bau tengik pada buah alpukat (Bates, 1970). Namun Bulti dan Melkam (2018) menyatakan bahwa proses pengolahan dapat membantu menghilangkan patogen dan memperpanjang umur penyimpanan jus buah seperti alpukat. Hal ini sangat penting karena alpukat rentan terhadap mikroba yang dapat menyebabkan masalah keamanan pangan jika tidak ditangani dengan benar. Flores *et al.* (2021) menjelaskan bahwa paparan suhu tinggi dalam jangka waktu lama dapat mempercepat hidrolisis *triacylglycerol* dalam minyak alpukat, yang mengakibatkan penurunan kualitas rasa dan nilai gizi. Hal ini menunjukkan pentingnya menjaga suhu yang tepat selama proses pengolahan. Vargas-Ortiz *et al.* (2016) menunjukkan bahwa pengolahan termal dapat meningkatkan keamanan dan kualitas produk alpukat dengan mengurangi aktivasi enzim.



Pengolahan Alpukat Dengan *Blanching*

Blanching adalah teknik untuk mempertahankan sifat sensorik buah dengan menonaktifkan enzim yang mengkatalisis reaksi oksidatif yang tidak diinginkan. Suhu yang digunakan dalam proses *blanching* alpukat agar dapat mempertahankan kualitas alpukat (minim perubahan warna akibat reaksi enzimatis) berkisar 75°C hingga 82°C dan durasi 1,5 hingga 10 menit (Tabel 1) (Salvador-Reyes dan Paucar-Menacho 2019). Proses *blanching* umumnya diikuti oleh proses lainnya seperti ekstraksi, pengeringan, sterilisasi, atau pendinginan. *Blanching* pada alpukat bertujuan untuk menonaktifkan enzim yang menyebabkan perubahan warna, tekstur, dan rasa yang tidak diinginkan selama penyimpanan (Salvador-Reyes dan Paucar-Menacho 2019). Aktivitas enzim secara signifikan dipengaruhi oleh variabel seperti suhu dan durasi *blanching*. Penggunaan suhu *blanching* 90°C selama lima menit menonaktifkan enzim peroksidase dan polifenol oksidase. Proses ini menyebabkan peningkatan retensi warna dan mengurangi pembentukan warna coklat (Salvador-Reyes dan Paucar-Menacho 2019; Bhat *et al.*, 2019).

Penelitian menunjukkan bahwa *blanching* dapat meningkatkan ekstraksi senyawa bioaktif (Saleh *et al.* 2021). Selain itu, perubahan biokimia yang terjadi selama proses *blanching* sangat penting karena menyebabkan produk olahan memiliki nilai gizi yang lebih baik dan retensi antioksidan yang lebih baik (Loh dan Lim 2018). Kondisi proses *blanching* yang ideal sangat penting untuk menyeimbangkan kebutuhan inaktivasi enzim serta menjaga kualitas sensorik dan nutrisi yang diinginkan (Doymaz 2013; Verlinden *et al.*, 2000).

Blanching juga memengaruhi sifat struktural dan nutrisi daging alpukat. Proses *blanching* mempercepat pelunakan jaringan dan memudahkan daging buah untuk diekstraksi sebagai produk, seperti guacamole dan minyak alpukat. Selain itu, alpukat yang diblanching memiliki sifat ekstraksi minyak yang lebih baik, menghasilkan minyak dengan stabilitas, dan memiliki sifat antioksidan yang lebih baik. Minyak yang dihasilkan dari alpukat yang diblanching memiliki asam lemak tak jenuh tunggal yang lebih kaya (Juhaimi *et al.*, 2021). *Blanching* sebelum pengeringan juga meningkatkan kualitas daging buah dan produk samping seperti biji dan kulit, yang sering diabaikan. Proses *blanching* menyebabkan peningkatan konsentrasi senyawa bioaktif dan penurunan signifikan pada faktor anti-nutrisi (Nchangwe *et al.* 2024). Fufa *et al.* (2025) mengungkapkan metode *blanching* yang dikombinasi dengan prosedur pre-treatment lainnya dapat meningkatkan profil warna produk alpukat kering. Suhu yang terlalu tinggi dan waktu *blanching* yang terlalu lama dapat menyebabkan kehilangan rasa dan degradasi nutrisi (Özbek *et al.*, 2022). Oleh karena itu, untuk menghasilkan produk alpukat berkualitas tinggi tanpa mengurangi nilai nutrisinya, sangat penting untuk memperhatikan kondisi optimal selama proses *blanching*.

Pengolahan Alpukat dengan Pasteurisasi Termal

Pasteurisasi termal bertujuan mengurangi mikroorganisme patogen, agar dapat meningkatkan keamanan pangan dan memperpanjang umur simpan (Sonar *et al.*, 2023; Soni dan Brightwell 2022). Proses pasteurisasi umumnya diberikan untuk produk cair yang tinggi nutrisi seperti susu dan jus, yang bertujuan untuk menghilangkan



mikroorganisme patogen sekaligus mempertahankan kualitas (Aji *et al.*, 2023). Pemilihan suhu selama pasteurisasi mempengaruhi efisiensi inaktivasi mikroba dan retensi kualitas nutrisi dalam produk makanan. Studi menunjukkan bahwa pasteurisasi pada suhu 72°C secara signifikan mengurangi bakteri patogen seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella* spp. dengan tingkat pengurangan 99% atau lebih (Xing *et al.*, 2020).

Produk alpukat yang telah diolah dapat dipasteurisasi secara termal (menggunakan pemanasan) atau non-termal. Produk alpukat olahan tanpa pasteurisasi rentan terhadap cemaran mikroba. Metode konvensional dalam proses pasteurisasi termal menggunakan perlakuan panas untuk membunuh mikroorganisme patogen. Proses ini harus mempertimbangkan variabel proses seperti suhu dan waktu, khususnya pada produk turunan alpukat karena buah ini sangat rentan terhadap panas dan degradasi senyawa bioaktif (Barradas-Pretelín *et al.*, 2022; Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes 2011). Namun alpukat yang dipasteurisasi akan lebih baik disimpan pada suhu dingin (4 °C) untuk memperpanjang umur simpan (Tabel 1) dan meminimalisir kerusakan (Yigeremu *et al.*, 2001)

Pengolahan Alpukat dengan Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu teknik pengolahan untuk mengurangi kadar air pada produk agar dapat memperpanjang umur simpan buah yang rentan busuk dan mempertahankan kualitas nutrisinya. Alat pengering yang telah digunakan pada studi proses pengolahan alpukat seperti pengering dengan udara panas (*Hot Air Drying*) (Chimsook dan Assawarachan 2017; Santana *et al.*, 2015), pengering inframerah (Nguyen *et al.*, 2021), dan *microwave* (Mujaffar dan Dipnarine 2020; Viola *et al.*, 2023), dan pengeringan *refractance window* (Nguyen *et al.*, 2023). Kualitas produk kering seperti kandungan fitokimia, aktivitas antioksidan dan sifat sensorinya dipengaruhi oleh setiap metode pengeringan yang digunakan. Pengeringan dengan udara panas adalah metode yang paling umum digunakan karena mudah digunakan dan rendah biaya (Nguyen *et al.*, 2021; Özbek *et al.*, 2022). Penelitian menunjukkan bahwa suhu pengeringan yang lebih tinggi dapat memengaruhi kandungan minyak alpukat, dengan hasil yang menurun secara signifikan ketika suhu pengeringan melebihi 70°C. Pengeringan dengan suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi fitokimia dan oksidasi lipid (Chimsook dan Assawarachan 2017; Santana *et al.*, 2015). Sebaliknya, penggunaan suhu pengeringan yang lebih rendah cenderung mempertahankan lebih banyak senyawa bioaktif. Pengeringan pada suhu 50°C mempertahankan jumlah total senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi daripada pengeringan pada suhu yang lebih tinggi (Nguyen *et al.*, 2022).

Pengeringan dengan menggunakan inframerah merupakan salah satu metode pengeringan yang menunjukkan potensi untuk mempertahankan kualitas alpukat. Studi menunjukkan bahwa metode ini dapat secara efektif mengurangi kadar air di bawah 4% (Nguyen *et al.*, 2021). Penggunaan bahan tambahan seperti maltodekstrin pada proses pengeringan dapat menyebabkan waktu pengeringan yang lebih singkat dan mengurangi oksidasi lipid selama penyimpanan (Nguyen *et al.*, 2023). Pengeringan dengan menggunakan



microwave telah terbukti dapat mempertahankan kualitas produk dengan menurunkan waktu pengeringan secara signifikan (Özbek *et al.*, 2022). Metode ini rentan mengalami peningkatan suhu yang terlalu panas, karena dapat menyebabkan perubahan tekstur yang tidak diinginkan dan terjadinya kehilangan beberapa nutrisi. Peneliti menemukan bahwa pengeringan alpukat dengan *microwave* dapat membuat rasa dan warna lebih mirip dengan buah segar dan meningkatkan preferensi panelis (Mujaffar dan Dipnarine 2020; Viola *et al.*, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa bubuk alpukat yang dihasilkan melalui pengeringan *refractance window* memiliki kapasitas antioksidan yang lebih tinggi dibanding metode konvensional. Hal ini disebabkan karena paparan suhu yang lebih rendah dibanding metode konvensional (Nguyen *et al.*, 2023). Metode pengeringan berdampak pada kandungan air dan stabilitas penyimpanan produk (Özbek *et al.*, 2022; Marović *et al.*, 2024).

Tabel 2. Umur simpan alpukat setelah diberi proses termal

Produk	Teknologi	Penyimpanan	Umur simpan	Referensi
Pulp alpukat	Blansir (38–42°C, 2–8 jan	3,5°C	5–6 minggu	Weiler et al. (1997)
Pulp alpukat	Hot Air Drying (50–70°C)	Suhu ruang, kemasan tertutup	6–12 bulan	Dung dan Thuan (2023)
Pulp alpukat	Refractance Window Drying (RW, 90°C)	Suhu ruang, kemasan tertutup	12 bulan	Nguyen et al. (2023)
Jus alpukat	Pasteurisasi (100°C, 10 menit)	37°C	< 8 jam	Yigeremu et al. (2001)
	Pasteurisasi (100°C, 10 menit)	4°C	< 24 jam	Yigeremu et al. (2001)
Pulp alpukat	Blansing (75°C-82, 5-10 menit)	5°C	37 hari	Salvador-Reyes dan Paucar Menacho (2019)
	Blansing (>82°C, 5–10 menit)	5°C	< 37 hari	Salvador-Reyes dan Paucar Menacho (2019)



NON-TERMAL

High Pressure Processing (HPP) Pada Alpukat

High Pressure Processing (HPP) adalah teknologi yang menggunakan tekanan tinggi hidrostatik. Tekanan HPP yang diberikan pada produk pangan berkisar dari 100 MPA hingga lebih dari 1000 MPA. Pada prinsipnya alpukat akan dimasukan kedalam kemasan fleksibel dan tahan tekanan tinggi, kemudian produk akan dimasukan dalam alat HPP. Ruang HPP akan dipenuhi air, kemudian piston bergerak memberi tekanan tinggi selama beberapa detik, setelah proses selesai secara perlahan tekanan piston menurun dan produk diambil dari rak HPP. Teknologi HPP banyak digunakan untuk tujuan proses pasteurisasi, dimana HPP dapat menginaktivasi enzim dan mikroba patogen yang terdapat didalam produk pangan (Abera, 2019). Secara umum mekanisme inaktivasi mikroba dan enzim adalah perubahan konformasi protein disebabkan tekanan tinggi yang diberikan. Perubahan konformasi protein pada dinding dan membran sel mikroba dapat menyebabkan perubahan permeabilitas membran sehingga terjadi lisis, cairan intraseluler akan keluar sedangkan cairan ekstraseluler akan kedalam sel sehingga mengganggu metabolisme sel. Pada proses pengolahan alpukat, teknologi HPP telah digunakan untuk produk seperti pure (Uzunlu, 2024) dan slice (Woolf *et al.*, 2013). Pemberian tekanan ini dapat berpengaruh pada kualitas alpukat. Reaktivasi enzim, kerusakan sel, dan perpindahan komponen intraseluler seperti asam organik diprediksi sebagai penyebab kerusakan pasta alpukat yang diolah dengan HPP selama penyimpanan dingin (Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes, 2010).

Perubahan pH baik pada kontrol dan perlakuan HPP tidak signifikan. Pada kontrol terjadi peningkatan jumlah yeast dan mold secara signifikan. Namun pada perlakuan HPP terjadi penurunan mold dan yeast. Hal ini dapat disebabkan karena penurunan pH walaupun terbilang tidak signifikan (Uzunlu, 2024). Nilai pH pasta alpukat turun secara signifikan dari 6.35 menjadi 5.8 selama 20 hari pertama penyimpanan. Pelepasan asam organik (seperti asam sitrat dan malat) dari organel sel yang rusak akibat tekanan HPP, bukan dari aktivitas bakteri asam laktat (BAL) (karena jumlah BAL rendah). Jumlah *Aerobic Plate Count* (APC) dan BAL yang berkurang sebanyak 4–5 log dapat disebabkan karena kadar oksigen terlarut yang rendah dalam pasta alpukat setelah vakumisasi HPP. Peningkatan APC terjadi pada hari ke-45, kondisi ini dapat disebabkan karena sel mikroba yang rusak telah mengalami pemulihan (Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes, 2010).

Perubahan warna semakin besar ketika suhu dan tekanan HPP semakin meningkat. (Sarantakou *et al.*, 2023). Proses pengolahan alpukat pure dengan HPP pada tekanan sebesar 600 MPa selama 3 menit dan disimpan suhu rendah 4 °C dapat memiliki umur simpan hingga 28 hari (Tabel 2). Kondisi ini tiga kali lipat lebih lama dibanding alpukat kontrol (tanpa proses pengolahan), dengan kondisi penyimpanan yang sama (Uzunlu, 2024). Selama penyimpanan nilai L dan b* alpukat yang diberi perlakuan HPP tidak signifikan (nilai L* dari 50,75 hingga



52,18, dan nilai b dari 25,75 hingga 23,10) sedangkan kontrol menurun secara signifikan (nilai L^* dari 63,41 hingga 55,77, dan nilai b^* dari 31,44 hingga 18,66). Begitupula parameter a^* pada alpukat yang diberi perlakuan HPP tidak mengalami peningkatan secara signifikan (dari -2.79 menjadi -2.25) dibandingkan dengan kontrol yang mengalami peningkatan secara signifikan (dari -9.48 hingga 1.93) (Uzunlu, 2024).

Studi sebelumnya pada alpukat slice telah memberikan informasi terkait perubahan warna pada kondisi daging alpukat sisi warna hijau dan kuning. Parameter warna daging tidak terlihat mengalami perubahan secara visual setelah perlakuan, namun pada analisis menggunakan alat parameter seperti nilai L (kecerahan) dan C (kroma) menurun setelah diberi perlakuan HPP (Woolf *et al.*, 2013). Tekanan tinggi dari HPP dapat menyebabkan disrupsi jaringan seluler tanpa merusak struktur pigmen utama seperti klorofil, sehingga warna hijau alami tetap terjaga (Uzunlu, 2024).

Kondisi penurunan dan peningkatan warna tersebut menunjukkan terjadinya oksidasi enzimatik dan degradasi senyawa fenolik pada produk. Pada sampel kontrol (tanpa perlakuan), aktivitas enzim PPO menyebabkan oksidasi senyawa fenolik menjadi pigmen coklat (melanin), yang meningkatkan nilai a^* dan menurunkan nilai b^* (Uzunlu, 2024). Pada perlakuan HPP dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel alpukat sehingga menyebabkan cairan intraseluler pada sel seperti enzim, asam organik, dan substrat akan keluar dari sel. Kerusakan ini mempercepat interaksi antara enzim, substrat, dan oksigen residu, meskipun efeknya tidak langsung terlihat pada warna. Nilai warna (L^* , a^* , dan b^*) tidak mengalami perubahan signifikan selama penyimpanan, meskipun terjadi reaktivasi enzim (Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes, 2010). HPP mampu menghambat aktivitas enzim polyphenol oxidase (PPO) hingga di bawah 30%, yang berperan pada reaksi pencokelatan enzimatik pada alpukat. Penghambatan PPO membantu mempertahankan nilai lightness lebih stabil selama penyimpanan (Uzunlu, 2024).

Perlakuan tekanan HPP diatas >300 MPa mengurangi aktivitas peroksidase (POD), khususnya pada tekanan yang lebih tinggi (Woolf *et al.*, 2013). Hal tersebut juga serupa dengan temuan Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes (2010), dimana perlakuan HPP (tekanan HPP 600 MPa selama 3 menit) menyebabkan enzim PPO dan Lipxygenase (LOX) mengalami penurunan aktivitas sebesar ~50% dan ~45%. Semakin meningkat suhu dan tekanan HPP semakin menurunkan aktivitas PPO, hingga <10% PPO yang tersisa (Sarantakou *et al.*, 2023). Mekanisme inaktivasi enzim melibatkan denaturasi parsial struktur enzim akibat tekanan tinggi, meskipun tidak sepenuhnya menghancurkan aktivitas katalitiknya (Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes, 2010).

PPO dan LOX menunjukkan peningkatan aktivitas selama penyimpanan (suhu 4 °C) terutama pada hari ke-10–15 penyimpanan, yang mencapai level setara dengan pasta alpukat segar. Aktivitas enzim setelah itu mulai mengalami fase penurunan hingga akhir periode penyimpanan (Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes, 2010). Aktivasi enzim tersebut dapat diakibatkan karena refolding (pelipatan ulang) enzim yang terdenaturasi parsial atau



migrasi enzim dari bagian sel yang rusak ke matriks pasta. Reaktivasi ini berpotensi memicu oksidasi senyawa fenolik (oleh PPO) dan lipid (oleh LOX), yang dapat menurunkan kualitas nutrisi dan rasa (Jacobo-Velázquez dan Hernández-Brenes, 2010).

Laju reaksi penurunan vitamin C selama penyimpanan pada suhu 15°C yang diproses dengan termal (90 °C selama 5 menit) jauh lebih tinggi dibanding yang di proses dengan HPP (600 MPa-25 °C-10 menit, 600 MPa-35 °C-10 menit, 750 MPa-25 °C-5 menit, 750 MPa-35 °C-5 menit). Nilai konstanta laju reaksi untuk alpukat yang diproses secara termal adalah -0.045 sedangkan untuk perlakuan HPP (mulai dari -0.007 hingga -0.012). Pemrosesan HPP pada 600 MPa (pada suhu sedang hingga 35 °C selama 10 menit) direkomendasikan sebagai kondisi pemrosesan yang optimal untuk minuman smoothie alpukat. Berdasarkan data yang diperoleh, 600 MPa-25/35 °C-10 menit cukup untuk mendapatkan smoothie yang aman (dengan pH sekitar 5) yang dapat tahan hingga 6 bulan dengan penyimpanan dingin 15°C (Tabel 2) yang sifat organoleptiknya dapat diterima konsumen seperti smoothie yang dibuat segar (Sarantakou *et al.*, 2023). Berdasarkan studi yang ada menunjukkan bahwa HPP dapat menghasilkan produk alpukat pure dengan perubahan kualitas/sensorik dalam hal warna, tekstur, kualitas sensorik keseluruhan, retensi vitamin C dan peningkatan masa simpan yang relatif tinggi dibandingkan dengan alpukat yang tanpa pemrosesan (serta diproses secara termal) (Sarantakou *et al.*, 2023).

Pengolahan Alpukat Dengan *Pulse Light*

Pulse light (PL) dapat disebut sebagai pulsed ultraviolet (PUV), intense pulsed light (IPL), high intensity pulsed light (HILP), dan broad-spectrum pulsed light (BSPL). PL adalah teknologi non-termal yang menggunakan pulsa cahaya intensitas tinggi dengan spektrum luas. Rentang spektrum nya mencakup cahaya ultraviolet (100-400 nm), cahaya tampak (400-700 nm), dan sebagian spektrum near infrared (NIR) (700-1100 nm) (Mandal *et al.*, 2020). Tujuan penggunaan pulse light adalah menginaktivasi mikroba pada produk liquid dan solid (Waghmare *et al.*, 2024). PL merusak DNA mikroorganisme, terutama dengan membentuk dimer timin yang menghambat replikasi dan transkripsi DNA, sehingga menyebabkan kematian sel (Waghmare *et al.*, 2024). Riset penggunaan pulse light untuk mengolah alpukat masih terbatas. Efektivitas PL dipengaruhi oleh dosis, jenis mikroorganisme, dan morfologi permukaan produk (Aguiló-Aguayo *et al.*, 2014).

Semakin tinggi perlakuan pulsed light maka semakin menurunkan jumlah mikroba dan memperlambat pertumbuhan yeast atau mold pada potongan alpukat (Ramos-Villarreal *et al.*, 2011; Aguiló-Aguayo *et al.*, 2014). Hal ini dibuktikan dari studi Aguiló-Aguayo *et al.* (2014), dimana perlakuan tertinggi pada PL (14 J/cm²) dapat menurunkan mikroba aerob mesofilik sebesar 1,20 log CFU/g dan menghambat pertumbuhan yeast dan mold selama 3 hari pertama dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan PL dapat memperpanjang shelf life (mikrobiologis) selama 15 hari pada suhu 4°C (Tabel 2), namun setelah dua minggu jumlah mikroba kembali meningkat (Aguiló-Aguayo *et al.*, 2014). Jenis mikroba juga akan mempengaruhi kerentanan terhadap perlakuan PL. Gram-negatif



(*Escherichia coli*) lebih sensitif diberi perlakuan PL dibanding Gram-positif (*Listeria innocua*) (Ramos-Villarroel *et al.*, 2011).

Perlakuan PL dapat membantu mempertahankan kandungan klorofil dan stabilitas warna hue. Selain itu perlakuan PL belum dapat mencegah browning dengan baik. Hal ini disebabkan karena penurunan nilai lightness (L^*) tetap terjadi pada semua perlakuan yang menunjukkan browning masih berlangsung selama penyimpanan (Ramos-Villarroel *et al.*, 2011; Aguiló-Aguayo *et al.*, 2014). Kondisi tersebut membuat Velderrain-Rodríguez *et al.* (2021) memodifikasi tahapan perlakuannya dengan merendam alpukat Hass yang telah dipotong di dalam larutan anti-browning (L-cysteine, asam sitrat, kalsium laktat) sebelum diberi perlakuan PL. Hasilnya menunjukkan alpukat yang diberi perlakuan PL tidak terjadi perubahan warna signifikan selama penyimpanan jika dibandingkan kontrol. Nilai L^* , a^* , dan b^* stabil pada sampel PL, sedangkan kontrol mengalami penurunan L^* dan b^* serta kenaikan a^* (browning) (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2021)

Perlakuan PL tidak mempercepat proses oksidasi lipid, sehingga kualitas lipid alpukat dapat stabil selama penyimpanan. Hal ini dibuktikan dari nilai peroksida pada semua sampel yang rendah, yaitu <10 meq O_2/kg minyak atau di bawah standar batas maksimum yang ditetapkan Codex Alimentarius. Fraksi lipid pada alpukat potong segar yang mengalami perlakuan PL menunjukkan pembentukan peroksida minimal selama 15 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak mengakibatkan peningkatan proses ketengikan, sehingga oksidasi masih berada pada tahap induksi. Perlakuan PL tidak mempercepat oksidasi lipid, kemungkinan karena keberadaan antioksidan alami pada alpukat (Aguiló-Aguayo *et al.*, 2014).

Selama proses penyimpanan terjadi penurunan tekstur alpukat. Penurunan tekstur tertinggi terjadi pada kontrol sebesar 65%, sedangkan alpukat yang diberi perlakuan PL hanya menurun 34% setelah 12 hari pada suhu $5^\circ C$. Kondisi ini dapat diakibatkan karena inaktivasi sebagian enzim yang dapat melunakan dinding sel oleh PL (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2021)

Perlakuan PL meningkatkan kandungan fenolik dan karotenoid hampir dua kali lipat, namun fenolik menurun selama penyimpanan. Peningkatan karotenoid dapat berhubungan dengan stimulasi biosintesis karotenoid oleh PL. Vitamin C dan klorofil mengalami penurunan setelah perlakuan PL. Alpukat kontrol mengalami penurunan klorofil hingga 34–44%, nilai ini relatif besar dibanding alpukat yang diberi perlakuan PL. Secara umum alpukat yang diberi perlakuan PL menyebabkan perubahan fitokimia yang lebih rendah dibanding kontrol (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2021).

Ekstrak lipofilik dari alpukat PL menunjukkan aktivitas antioksidan tertinggi, konsisten dengan peningkatan karotenoid. AA dari ekstrak hidrofilik menurun seiring penurunan fenolik dan vitamin C selama penyimpanan. Secara umum, PL meningkatkan aktivitas antioksidan pada fraksi hidrofilik maupun lipofilik dibanding kontrol (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2021).



Pengolahan Alpukat Dengan Irradiasi Gamma

Irradiasi adalah teknologi yang menggunakan radiasi pengion seperti sinar X, elektron beam, atau sinar gama yang dipaparkan pada produk pangan agar dapat mencapai keamanan pangan. Sinar gamma yang paling umum digunakan untuk aplikasi pangan dengan tujuan pasteurisasi dan bahkan hingga sterilisasi (Bisht *et al.*, 2021; Ravindran dan Jaiswal, 2019) Mekanisme inaktivasinya adalah paparan pengion akan menyebabkan kerusakan DNA dan komponen sel lain. Kerusakan dapat secara langsung maupun tidak langsung (melalui radikal bebas dari radiolisis air), hal ini dapat menghambat pertumbuhan dan menginaktivasi mikroba (Bisht *et al.*, 2021).

Salah satu faktor kritis terkait keamanan pangan alpukat beku selain mikrobiologis adalah kandungan asam lemak dan nilai peroksida. Berdasarkan studi Valdivia *et al.* (2002) pada alpukat yang diberi iradiasi menunjukkan kadar asam lemak bebas (FFA) yang relatif stabil hingga minggu ke-26 pada suhu beku, kemudian menjadi meningkat perlahan (jumlah FFA masih di bawah batas Codex Alimentarius yaitu maksimum 1,0%). Nilai peroksida juga stabil hingga 20 minggu, kemudian jumlahnya meningkat perlahan hingga maksimum 5,5 mEq/kg pada minggu ke-56 (jumlah peroksida di bawah batas Codex yaitu 10 mEq/kg). Berdasarkan kajian produk alpukat beku yang sebelumnya diberi perlakuan iradiasi (0,5 - 2,5 kGy) dapat memiliki umur simpan hingga 120 minggu atau lebih dari dua tahun (berdasarkan prediksi model yang mengikuti kinetika orde satu) (Tabel 2). Kondisi tersebut diperkirakan tidak ada penurunan mutu lipid, klorofil, dan munculnya bau tengik, serta tidak terjadi perubahan warna yang signifikan. Kandungan klorofil tetap stabil selama penyimpanan, dan tidak terjadi perubahan warna signifikan yang terdeteksi oleh panelis (Valdivia *et al.*, 2002). Studi iradiasi alpukat yang diproses masih terbatas, terdapat studi lain yang menggunakan iradiasi untuk alpukat segar (tanpa pengolahan) dalam rangka pengendalian hama. Namun hasil pengujian menunjukkan dosis iradiasi untuk pengendalian hama (≥ 100 Gy) menyebabkan perubahan negatif pada kualitas visual (terutama warna daging buah) dan mempercepat pelunakan, hal ini akan mengurangi mutu komersial buah alpukat segar (Lizarazo-Peña *et al.*, 2022).

Tabel 2. Umur simpan alpukat setelah diberi proses non termal

Produk	Teknologi	Penyimpanan	Umur simpan	Referensi
Pulp alpukat beku	Irradiasi	Suhu beku	2 tahun	Valdivia <i>et al.</i> (2002)
Alpukat potong	<i>Pulse light</i>	4°C	2 minggu	Aguiló-Aguayo <i>et al.</i> (2014)
Alpukat potong	<i>Pulse light</i>	5°C	12 hari	Velderrain-Rodríguez <i>et al.</i> (2021)
Pure	HPP	15°C	6 bulan	Sarantakou <i>et al.</i> (2023)
Pure	HPP	4 °C	28 hari	Uzunlu (2024)

Hasil kajian dampak proses pengolahan pada alpukat telah terangkum pada Tabel 3. Berbagai proses pengolahan dapat menyebabkan dampak yang berbeda. Aktivitas enzimatis yang mengarah pada reaksi pencoklatan dan timbulnya bau tengik ketika penggunaan suhu tinggi adalah kendala yang sering dihadapi pada pengolahan alpukat. Penggunaan proses hurdle adalah salah satu cara untuk menekan dampak buruk dari proses



pengolahan, namun belum dapat dibahas pada review ini karena keterbatasan informasi. Kedepan studi proses hurdle untuk pengolahan alpukat dapat lebih banyak dilakukan.

Tabel 3. Rangkuman Dampak Proses Termal dan Non Termal Pada Alpukat

Metode pengolahan	Dampak pada warna alpukat	Dampak Enzimatis dan Mikroba
Tanpa perlakuan	Penurunan warna signifikan selama penyimpanan	Aktivitas enzimatis, pencoklatan enzimatis, dan mikroba relatif cepat (Velderrain-Rodríguez <i>et al.</i> , 2021; Uzunlu, 2024).
Sterilisasi	Potensi penurunan warna lebih intens dan timbulnya bau tengik	Inaktivasi mikroba dan spora, dan penurunan nutrisi (Bates, 1970; Bult dan Melkam 2018)
<i>Blanching</i>	Menekan pencoklatan, retensi warna lebih baik	Inaktivasi PPO dan POD, peningkatan bioaktif (Salvador-Reyes dan Paucar-Menacho 2019 Bhat <i>et al.</i> , 2019; Juhaimi <i>et al.</i> , 2021)
Pasteurisasi	Penurunan warna lebih lambat dari sterilisasi	Inaktivasi mikroba patogen, retensi nutrisi lebih baik (Yigeremu <i>et al.</i> , 2001; Xing <i>et al.</i> , 2020).
Pengeringan (udara kering, <i>infrared</i> , <i>microwave</i> , <i>refractance window</i>)	Suhu tinggi (>70°C) warna lebih cepat turun intensitasnya, suhu rendah dapat lebih baik mempertahankan warna	Oksidasi lipid dan fitokimia, degradasi nutrisi pada suhu tinggi (Chimsook dan Assawarachan 2017; Santana <i>et al.</i> , 2015; Mujaffa dan Dipnarine 2020; Nguyen <i>et al.</i> 2021; Nguyen <i>et al.</i> , 2023; Viola <i>et al.</i> , 2023)
<i>High Pressure Processing</i> (HPP)	Perubahan warna minim	Inaktivasi bakteri, yeast, mold, PPO dan LOX hingga <30%, enzim dapat teraktivasi saat penyimpanan (Jacobo-Velázquez dan Hernández Brenes, 2010; Woolf <i>et al.</i> , 2013; Uzunlu, 2024)
<i>Pulse Light</i> (PL)	Nilai L* menurun (browning masih terjadi) dengan lambat, dan retensi klorofil lebih baik dari kontrol	Inaktivasi sebagian enzim, bakteri, yeast, dan mold, peningkatan karotenoid, dan fenolik (Aguiló-Aguayo <i>et al.</i> , 2014; Velderrain-Rodríguez <i>et al.</i> , 2021)
Iradiasi gamma	Perubahan warna tidak signifikan (pada pulp beku)	Inaktivasi mikroba, FFA dan peroksida stabil (Valdivia <i>et al.</i> , 2002)



KESIMPULAN

Pengolahan termal dapat dikombinasi dengan metode lain. Pengolahan termal efektif dalam menekan pertumbuhan mikroba dan memperpanjang masa simpan alpukat. Selain itu, proses termal yang tepat dapat membantu menjaga kualitas sensorik, fisik, dan kimia alpukat selama penyimpanan. Intensitas proses termal yang berlebih dapat menyebabkan timbul bau tengik yang lebih cepat. Proses pengolahan secara non termal dapat memberikan dampak sifat organoleptik seperti kondisi segar, dapat menginaktivasi mikroba dan enzim pada alpukat. Pada umumnya alpukat yang diolah secara non termal hanya sampai level pasteurisasi, sebab dari studi sebelumnya belum ada yang melaporkan hingga level inaktivasi spora khususnya pada alpukat. Level proses sangat mempengaruhi kualitas fisik dan kimia alpukat yang dihasilkan serta metode penyimpanan yang diberikan. Pengetahuan mengenai parameter proses pada setiap pengolahan menjadi penting untuk memberikan level proses yang sesuai. Penyimpanan alpukat pada suhu dingin dan beku yang sebelumnya diberi proses pengolahan dapat memperpanjang umur simpan produk dibanding tanpa pengolahan. Aktivitas enzimatik yang teraktivasi adalah salah satu penyebab perubahan warna yang terjadi selama penyimpanan pada alpukat yang telah diberi proses. Pengolahan termal dan non termal yang tepat terbukti dapat mengurangi pertumbuhan mikroba, menjaga kualitas fisik, dan memperpanjang masa simpan alpukat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abera G. 2019. Review on high-pressure processing of foods. *Cogent Food Agric.* 5(1).doi:10.1080/23311932.2019.1568725.
- Aguiló-Aguayo I, Oms-Oliu G, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R. 2014. Impact of pulsed light treatments on quality characteristics and oxidative stability of fresh-cut avocado. *Lwt.* 59(1):320–326.doi:10.1016/j.lwt.2014.04.049.
- Aji H, Nuhriawangsa A, Kartikasari L. 2023. Control of the critical points for the safety of pasteurized milk in cv cita nasional. *Livest. Anim. Res.* 21(2):91. <https://doi.org/10.20961/lar.v21i2.68784>
- Allai FM, Azad ZRAA, Mir NA, Gul K. 2023. Recent advances in non-thermal processing technologies for enhancing shelf life and improving food safety. *Appl. Food Res.* 3(1):100258.doi:10.1016/j.afres.2022.100258.
- Barradas-Pretelín R, García-Barradas O, Beristain-Guevara C, Mendoza-López M, Pascual-Pineda L, Flores-Andrade E, Jiménez-Fernández M. 2022. Effect of ginger extract on stability, physicochemical, and antioxidant properties of avocado powder using maltodextrin as carrier. *J Food Process Preserv.* 46(6).doi:10.1111/jfpp.16541.
- Bates, R. P. (1970). Heat Induced Off Flavor in Avocado Flesh. *Journal of Food Science*, 35(4), 478–482. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb00962.x>



- Bhat S, Saini C, Kumar M, Sharma H. 2019. Peroxidase as indicator enzyme of blanching in bottle gourd (*Lagenaria siceraria*): changes in enzyme activity, color, and morphological properties during blanching. J Food Process Preserv. 43(8). doi:10.1111/jfpp.14017.
- Bisht B, Bhatnagar P, Gururani P, Kumar V, Tomar MS, Sinhmar R, Rath N, Kumar S. 2021. Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables– a review. Trends Food Sci. Technol. 114:372–385. doi:10.1016/j.tifs.2021.06.002.
- Bulti K, Melkam D. 2018. Microbiological quality of fruit juices sold in cafes and restaurants of Shewarobit town, Amhara, Ethiopia. Afr J Microbiol Res. 12(26):623-628. doi:10.5897/ajmr2018.8868.
- Chimsook T, Assawarachan R. 2017. Effect of drying methods on yield and quality of the avocado oil. Key Eng Mater. 735:127-131. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.735.127.
- Deák T. 2014. Food Technologies: Sterilization. In: Academic Press. p. 245-252. doi:10.1016/B978-0-12-378612-8.00258-4.
- Duarte Augusto PE, Lima Tribst AA, Cristianini M. 2014. Thermal Processes | Commercial Sterility (Retort). In: Academic Press. p. 567-576. doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00405-5.
- Dung, NT, Thuan, N. Van. 2023. Influence of drying temperature on drying kinetics and appearance of avocado slices in heat pump drying process. International Journal of Engineering and Technology, 15(3), 89–93. doi: 10.7763/ijet.2023.v15.1226
- Dupont FMA. 1993. An ecological study of the damage done to avocado fruit by Hemiptera in the Hazyview region, South Africa. South African Avocado Grow. Assoc. Yearb. 16(1991):107–112.
- Doymaz İ. 2013. Effect of blanching temperature and dipping time on drying time of broccoli. Food Sci Technol Int. 20(2):149-157. doi:10.1177/1082013213476075.
- Everett KR, Hallett IC, Rees-George J, Chynoweth RW, Pak HA. 2008. Avocado lenticel damage: The cause and the effect on fruit quality. Postharvest Biol. Technol. 48(3):383–390. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.09.008.
- Flores M, Reyes-García L, Ortiz J, Romero N, Vilcanqui Y, Rogel C, Forero-Doria O. 2021. Thermal behavior improvement of fortified commercial avocado (*Persea americana* Mill.) oil with maqui (*Aristotelia chilensis*) leaf extracts. Antioxidants. 10(5):664. doi:10.3390/antiox10050664.
- Ford NA, Spagnuolo P, Kraft J. 2023. Nutritional Composition of Hass Avocado Pulp. Foods. 12(2516):1–23. doi:10.3390/foods12132516.
- Fufa D, Bekele T, Tamene A, Bultosa G. 2025. Drying kinetic models, thermodynamics, physicochemical qualities, and bioactive compounds of avocado (*Persea americana* Mill. Hass variety) seeds dried using various drying methods. Heliyon. 11(1):e41058. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e41058.
- Jacobo-Velázquez DA, Hernández-Brenes C. 2010. Biochemical changes during the storage of high hydrostatic pressure processed avocado paste. J. Food Sci. 75(6). doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01654.x.



- Jacobo-Velázquez D, Hernández-Brenes C. 2011. Sensory shelf-life limiting factor of high hydrostatic pressure processed avocado paste. *J Food Sci.* 76(6). doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02259.x.
- Juhaimi F, Uslu N, Özcan M, Babiker E, Ghafoor K, Ahmed I, Alsawmahi O. 2021. Effects of drying process on oil quality, the bioactive properties and phytochemical characteristics of avocado (Fuerte) fruits harvested at two different maturity stages. *J Food Process Preserv.* 45(4). doi:10.1111/jfpp.15368.
- Lizarazo-Peña P, Darghan E, Herrera A. 2022. Effects of gamma radiation on the quality of Hass avocado fruits (*Persea americana* Mill.). *Radiat. Phys. Chem.* 190(October 2021).doi:10.1016/j.radphyschem.2021.109817.
- Loh Z, Lim Y. 2018. Drying effects on antioxidant activity, enzyme activity, and phytochemicals of avocado (*Persea americana*) leaves. *J Food Process Preserv.* 42(10):e13667. doi:10.1111/jfpp.13667.
- Mandal R, Mohammadi X, Wiktor A, Singh A, Singh AP. 2020. Applications of pulsed light decontamination technology in food processing: an overview. *Appl. Sci.* 10(10):3606.doi:https://doi.org/10.3390/app10103606.
- Marović R, Sabolović M, Brnčić M, Grassino A, Kljak K, Voća S. 2024. The nutritional potential of avocado by-products: a focus on fatty acid content and drying processes. *Foods.* 13(13):2003. doi:10.3390/foods13132003.
- Mujaffar S, Dipnarine T. 2020. The production of a dried avocado (*Persea americana*) powder. doi:10.47412/ddsd1316.
- Mustaha MA, Maharani WS, Ammatilah CS, Mayasari K. 2023. Penerapan SNI dan Potensi Usaha Alpukat. Jakart: Balai Penerapan Standar Instrumen Pertanian Jakarta, Balai Besar Penerapan Standar Instrumen Pertanian, Badan Standarisasi Instrumen Pertanian Jakarta.
- Nabilah UU, Oktaviani SR. 2024. Perubahan paradigma pada pengawetan pangan : proses termal dan non termal. *FoodTech J. Teknol. Pangan.* 7(2):9–20.
- Nchangwe C, Kassim N, Makule E. 2024. Effect of blanching conditions and solar drying on selected nutritional, anti-nutritional and bioactive components of formulated avocado seed powder. *Afr J Food Agric Nutr Dev.* 24(6):26608-26622. doi:10.18697/ajfand.131.23985.
- Nguyen T, Nguyen Q, Nguyen P. 2022. Drying kinetics and changes of total phenolic content, antioxidant activity and color parameters of mango and avocado pulp in refractance window drying. *Pol J Food Nutr Sci.* 27-38. doi:10.31883/pjfns/144835.
- Nguyen T, Nguyen Q, Nguyen N, Nguyen T. 2021. Comparison of phytochemical contents, antioxidant and antibacterial activities of various solvent extracts obtained from 'Maluma' avocado pulp powder. *Molecules.* 26(24):7693. doi:10.3390/molecules26247693.
- Nguyen TVL, Nguyen TTD, Huynh QT, Nguyen PBD. 2023. Effect of maltodextrin on drying rate of avocado (*Persea Americana* Mill.) pulp by refractance window technique, and on color and functional properties of Powder. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences,* 73(2), 187–195. https://doi.org/10.31883/pjfns/163982



- Nguyen T, Nguyen Q, Nguyen T, Nguyen P. 2021. Effects of infrared drying conditions and maltodextrin addition on some physicochemical characteristics of avocado (*Persea americana*) pulp powder. Appl Sci. 11(24):11803. doi:10.3390/app112411803.
- Nguyen T, Nguyen T, Huynh Q, Nguyen P. 2023. Effect of maltodextrin on drying rate of avocado (*Persea americana* Mill.) pulp by refractance window technique, and on color and functional properties of powder. Pol J Food Nutr Sci. 187-195. doi:10.31883/pjfn/163982.
- Özbek H, Koç B, Yanık D, Göğüş F. 2022. Hot air-assisted radiofrequency drying of avocado: drying behavior and the associated effect on the characteristics of avocado powder. J Food Process Eng. 45(9). doi:10.1111/jfpe.14094.
- Pachón YV, Balaguera-López HE, Florez-Velasco N. 2022. Postharvest behavior and chilling injury in avocado (*Persea americana* Mill) fruit cv. Hass treated with 1-methylcyclopropene, ethylene, and intermittent warming. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin. 75(2):9895–9907. doi:10.15446/rfnam.v75n2.98741.
- Puspitasari DR, Rahmi DM, Kusumawati I, Sari AR. 2023. Review article: postharvest handling of local avocado (*Persea Americana*) in Indonesia. Di dalam: Proceedings of the 3rd International Conference on Smart and Innovative Agriculture (ICoSIA 2022). Atlantis Press International BV. hlm. 646–653.
- Ramírez-Gil JG, Henao-Rojas JC, Morales-Osorio JG. 2021. Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. Heliyon. 7(1):e05905. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e05905.
- Ramos-Villarroel AY, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R. 2011. Bacterial inactivation and quality changes in fresh-cut avocado treated with intense light pulses. Eur. Food Res. Technol. 233(3):395–402. doi:10.1007/s00217-011-1533-6.
- Ravindran R, Jaiswal AK. 2019. Wholesomeness and safety aspects of irradiated foods. Food Chem. 285:363–368. doi:10.1016/j.foodchem.2019.02.002.
- Rocha FA. 2023. Thermal sterilization of food in cans and pouches. In: Elsevier eBooks. p. 275-300. doi:10.1016/b978-0-12-818616-9.00002-x.
- Saleh M, Amro L, Barakat H, Baker R, Reyash A, Amro R, Qasem J. 2021. Fruit by-product processing and bioactive compounds. J Food Qual. 2021:1-9. doi:10.1155/2021/5513358.
- Salvador-Reyes R, Paucar-Menacho L. 2019. Optimization of the blanching time and temperature in the manufacture of Hass avocado pulp using low quality discarded fruits. Braz J Food Technol. 22. doi:10.1590/1981-6723.24418.
- Santana I, Reis L, Torres A, Cabral L, Freitas S. 2015. Avocado (*Persea americana* Mill.) oil produced by microwave drying and expeller pressing exhibits low acidity and high oxidative stability. Eur J Lipid Sci Technol. 117(7):999-1007. doi:10.1002/ejlt.201400172.



- Sarantakou P, Andreou V, Paraskevopoulou E, Dermesonlouoglou EK, Taoukis P. 2023. Quality determination of a high-pressure processed avocado. Beverage. 9(38):1–17.
- Serment-Moreno V, Welti-Chanes J. 2016. Sterilization of Foods. In: Elsevier eBooks. p. 175-180. doi:10.1016/B978-0-12-384947-2.00663-2.
- Sonar C, Wang X, Ao J. 2023. Thermal pasteurization. In: Elsevier eBooks. doi:10.1016/b978-0-12-822521-9.00072-1.
- Soni A, Brightwell G. 2022. Effect of hurdle approaches using conventional and moderate thermal processing technologies for microbial inactivation in fruit and vegetable products. Foods. 11(12):1811. doi:10.3390/foods11121811.
- Tenea GN, Angamarca E, Cifuentes V, Hidalgo J. 2024. Preventing microbe colonization on avocado (*Persea nubigena* var. *guatemalensis*) through metabiotic treatment, a promising postharvest safety improvement. Front. Microbiol. 15:1–12. doi:10.3389/fmicb.2024.1344735.
- Toledo L, Aguirre C. 2017. Enzymatic browning in avocado (*Persea americana*) revisited: History, advances, and future perspectives. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 57(18):3860–3872. doi:10.1080/10408398.2016.1175416.
- Tokur B, Korkmaz K. 2019. Novel thermal sterilization technologies in seafood processing. In: CRC Press. p. 303-322. doi:10.1201/9780429327551-15.
- Uzunlu S. 2024. Determining the effect of high hydrostatic pressure on the refrigerated stability of avocado puree. Food Prod. Process. Nutr. 6(1):4–11. doi:10.1186/s43014-024-00245-5.
- Valdivia MÁ, Bustos ME, Ruiz J, Ruiz LF. 2002. The effect of irradiation in the quality of the avocado frozen pulp. Radiat. Phys. Chem. 63(3–6):379–382. doi:10.1016/S0969-806X(01)00628-4.
- Valle-Gómez A, Borja-Urby R, Ortiz-Moreno A, Téllez-Medina DI. 2024. Polymorphism and microstructural changes in avocado pulp (*Persea americana* Mill.) after scraped-surface heat exchanger processing. Foods. 13(23). doi:10.3390/foods13233717.
- Velderrain-Rodríguez GR, Salmerón-Ruiz ML, González-Aguilar GA, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R. 2021. Ultraviolet/visible intense pulsed light irradiation of fresh-cut avocado enhances its phytochemicals content and preserves quality attributes. J. Food Process. Preserv. 45(3):1–9. doi:10.1111/jfpp.15289.
- Vargas-Ortiz M, Servent A, Rodríguez-Jimenes G, Pallet D, Salgado-Cervantes M. Effect of thermal stage in the processing avocado by flash vacuum expansion: effect on the antioxidant capacity and the quality of the mash. J Food Process Preserv. 2016;41(5):e13118. doi:10.1111/jfpp.13118.
- Verlinden B, Yuksel D, Baheri M, Baerdemaeker J, Dijk C. 2000. Low temperature blanching effect on the changes in mechanical properties during subsequent cooking of three potato cultivars. Int J Food Sci Technol. 35(3):331-340. doi:10.1046/j.1365-2621.2000.00391.x.



- Viola E, Buzzanca C, Tinebra I, Settanni L, Farina V, Gaglio R, Stefano V. 2023. A functional end-use of avocado (cv. Hass) waste through traditional semolina sourdough bread production. *Foods*.12(20):3743. doi:10.3390/foods12203743.
- Waghmare R, Kumar M, Zhang B, Yadav R, Dukare A, Radha, Chandran D, Nayi P, Hasan M, Dhumal S, et al. 2024. Pulsed light: Innovative non-thermal technology for preservation of fruits and vegetables. *Food Phys*. 1(June):100022.doi:10.1016/j.foodp.2024.100022.
- Weemaes C, Ludikhuyze L, Van Den Broeck I, Hendrickx M. 1999. Kinetic study of antibrowning agents and pressure inactivation of avocado polyphenoloxidase. *J. Food Sci*. 64(5):823–827.doi:10.1111/j.1365-2621.1999.tb15920.x.
- Weiler PL, Kaiser C, Savage MJ, Wolstenholme BN. 1997. Post-Harvest Vapour Heat Treatment of Hass and Fuerte Avocado. *South African Avocado Growers Association*, 20, 6–11.
- Woolf AB, Wibisono R, Farr J, Hallett I, Richter L, Oey I, Wohlers M, Zhou J, Fletcher GC, Requejo-Jackman C. 2013. Effect of high pressure processing on avocado slices. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 18:65–73.doi:10.1016/j.ifset.2013.02.011.
- Xing Q, Ma Y, Fu X, Cao Q, Zhang Y, You C. 2020. Effects of heat treatment, homogenization pressure, and overprocessing on the content of furfural compounds in liquid milk. *J. Sci. Food Agric*. 100(14):5276-5282. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10578>
- Yigeremu B, Bogale M, Ashenafi M. 2001. Fate of Salmonella species and E. coli in Fresh-Prepared Orange, Avocado, Papaya and Pine Apple Juices.pdf. *Ethiop J Health Sci*, 11, 89–95.