

Analisis Neraca Massa Proses Pembuatan *Virgin Coconut Oil* dari Santan Menggunakan Metode Pemanasan (*Hot Process*)

Mass Balance Analysis of the Virgin Coconut Oil Production Process from Coconut Milk Using the Heating Method (Hot Process)

Nining Pambudi Astuti^{1a}, Muh. Agus Ferdian¹, Labib Hilia Rahman¹, Ulfa Putri Andini¹, Hilairus Jebarut¹, Kabata Imanda Tahta Firdausy²

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Pertanian Malang, Jl. Soekarno-Hatta Kota Malang, 65142

²Program Studi Teknik Pertanian dan Biosystem, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran –Malang 65145

^aKorespondensi: Nining Pambudi Astuti, E-mail: npambudia@gmail.com

Diterima: 03 – 01 – 2026, Disetujui: 19 – 01 - 2026

ABSTRACT

Virgin coconut oil (VCO) made from coconut milk is a valuable product in the coconut agro-industry, but small-scale manufacturing processes are often not thoroughly examined, leaving room to improve yields and reduce material losses. This study set out to establish and evaluate a mass balance for producing VCO from coconut milk using a heated, or hot process, method that reflects micro- and small-scale production. Adopting a case study approach, the research analyzed a single production cycle. The findings indicated that the process yielded 0.50 kgs of VCO, representing 12.99% of the coconut milk input and 18.87% of the grated coconut. Considering the coconut milk's theoretical oil content of 0.57 kgs, the oil recovery rate was 87.72%, with around 12% of the oil remaining trapped in by-products such as blondo, filter residues, and press cake. Other outputs included 2.75 kgs of aqueous phase, 0.49 kgs of process solids, 0.90 kgs of final residue, 0.06 kgs of water vapor, and 0.20 kgs of total material losses. Overall, the study shows that conducting a mass balance highlights areas for efficiency improvement and loss reduction, offering data to guide better process design and by-product utilization in small-scale VCO production.

Keywords: Coconut, coconut milk, Virgin coconut oil (VCO), heating, mass balance

ABSTRAK

Minyak kelapa murni (VCO) yang dihasilkan dari susu kelapa merupakan produk berharga dalam industri agro kelapa, namun proses produksi skala kecil seringkali tidak dievaluasi secara menyeluruh, sehingga masih ada ruang untuk meningkatkan hasil dan mengurangi kerugian bahan baku. Studi ini bertujuan untuk menetapkan dan mengevaluasi keseimbangan massa dalam produksi VCO dari susu kelapa menggunakan metode pemanasan (proses panas) yang mencerminkan produksi skala mikro dan kecil. Dengan pendekatan studi kasus, penelitian ini menganalisis satu siklus produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses tersebut menghasilkan 0,50 kg VCO, yang mewakili 12,99% dari masukan susu kelapa dan 18,87% dari kelapa parut. Mengingat kandungan minyak teoritis susu kelapa sebesar 0,57 kg, tingkat pemulihan minyak mencapai 87,72%, dengan sekitar 12% minyak tersisa terperangkap dalam produk sampingan seperti blondo, sisa filter, dan kue press. Output lainnya meliputi 2,75 kg fase air, 0,49 kg padatan proses, 0,90 kg residu akhir, 0,06 kg uap air, dan 0,20 kg kerugian material total. Secara keseluruhan, studi ini menunjukkan bahwa melakukan analisis keseimbangan massa menyoroti area untuk peningkatan efisiensi dan pengurangan kerugian, memberikan data untuk mengarahkan desain proses yang lebih baik dan pemanfaatan produk sampingan dalam produksi VCO skala kecil.

Kata Kunci : Kelapa, santan, *Virgin coconut oil* (VCO), pemanasan, neraca massa

PENDAHULUAN

Kelapa (*Cocos nucifera* L.) merupakan komoditas penting di wilayah tropis yang menyediakan pangan, energi, dan pendapatan bagi rumah tangga pedesaan. Berbagai kajian menunjukkan bahwa kelapa berkontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat pesisir, sekaligus menjadi sumber bahan baku utama untuk beragam produk pangan dan nonpangan bernilai tambah (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Indonesia termasuk dalam tiga besar produsen kelapa dunia bersama Filipina dan India, dengan lebih dari 95% kebun dikelola oleh petani kecil yang umumnya hanya menjual kelapa butiran atau kopra sehingga nilai ekonomi yang diperoleh relatif rendah (Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025). Dalam konteks tersebut, pengembangan produk hilir bernilai tinggi seperti *virgin coconut oil* (VCO) dipandang strategis untuk meningkatkan nilai tambah, memperbaiki pendapatan petani, dan memperkuat daya saing agroindustri kelapa nasional (Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025).

Virgin coconut oil didefinisikan sebagai minyak yang diperoleh dari endosperm kelapa segar dan matang melalui cara mekanik atau alami, dengan atau tanpa penggunaan panas, tanpa pemurnian kimia, pemucatan, dan deodorisasi, sehingga mempertahankan aroma segar kelapa dan sebagian besar komponen minor yang bermanfaat (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Standar *Asian and Pacific Coconut Community* (APCC) dan *Codex Alimentarius* menekankan bahwa VCO harus memiliki kadar air, asam lemak bebas, dan nilai peroksida yang sangat rendah, sekaligus profil asam lemak khas minyak laurik dengan dominasi asam laurat sekitar 43–53% dari total asam lemak (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Komposisi ini menjadikan VCO kaya medium-chain fatty acids (MCFA), terutama asam laurat dan turunannya monolaurin, yang dikaitkan dengan sifat antimikroba, antivirus, dan berbagai efek fisiologis lainnya (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Sejalan dengan meningkatnya minat konsumen terhadap pangan fungsional dan produk alami, VCO dilaporkan semakin populer untuk aplikasi pangan, kesehatan, kosmetik, dan farmasi (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020).

Berbagai studi menyoroati potensi manfaat kesehatan VCO, termasuk aktivitas antioksidan, efek antimikroba dan antivirus, serta kemungkinan peran kardioprotektif, neuroprotektif, antidiabetik, dan antiinflamasi (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Kandungan vitamin E, polifenol, dan senyawa fenolik lain yang relatif terjaga dibandingkan minyak kelapa rafinasi (*refined, bleached, and deodorized/RBD*) turut berkontribusi terhadap stabilitas oksidatif dan manfaat fungsional VCO (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Namun demikian, retensi komponen bioaktif tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi proses, khususnya paparan panas selama ekstraksi dan pengolahan. Oleh karena itu, pemilihan dan desain proses pembuatan VCO menjadi faktor kunci untuk menjamin mutu produk sekaligus efisiensi pemanfaatan bahan baku (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020).

Secara umum, teknologi produksi VCO dapat diklasifikasikan ke dalam metode kering (*dry process*) dan metode basah (*wet process*). Pada metode kering, daging kelapa segar dikeringkan hingga kadar air tertentu, kemudian minyak diekstrak melalui pengepresan mekanik atau kombinasi pengeringan dan ekstraksi tekanan (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Metode basah menggunakan santan atau krim kelapa sebagai bahan baku, dan fase minyak dipisahkan dari emulsi santan melalui berbagai pendekatan seperti fermentasi, sentrifugasi, metode pH, enzimatik, serta teknik chilling–freezing–thawing (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Dalam dua dekade terakhir, dikembangkan pula teknologi yang lebih maju seperti ekstraksi fluida superkritis CO₂, ultrasonik, dan kombinasi beberapa metode untuk meningkatkan rendemen dan mutu VCO (Chen *et al.*, 2024; Tetra Pak International S.A., 2025). Meskipun demikian, untuk skala UMKM dan komunitas

pedesaan, metode-metode sederhana yang memanfaatkan peralatan rumah tangga masih menjadi pilihan utama karena kebutuhan investasi yang rendah dan kemudahan operasional (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018).

Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan pada skala kecil adalah produksi VCO dari santan menggunakan metode pemanasan (*hot process*). Pada prinsipnya, santan atau krim kelapa yang diperoleh dari pemerasan daging kelapa segar dipanaskan hingga emulsi terdestabilisasi, air menguap, dan fase minyak terpisah dari fase padatan (protein terkoagulasi) dan air (Food Loss and Waste Protocol, 2016; FAO, 2019). Berbagai variasi metode dapur (*kitchen method*) dan modified kitchen method menerapkan pemanasan bertahap pada rentang suhu sedang hingga mendekati titik didih, diikuti dengan proses pemisahan minyak dan pengeringan untuk menurunkan kadar air hingga memenuhi standar VCO (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Keunggulan utama metode pemanasan adalah rangkaian operasi yang sederhana, tidak memerlukan peralatan khusus seperti sentrifus, serta mudah diadopsi oleh rumah tangga dan UMKM pengolah kelapa (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Namun, penerapan panas dapat memengaruhi warna, aroma, dan kandungan senyawa bioaktif; beberapa studi melaporkan bahwa VCO hasil hot process cenderung memiliki kandungan antioksidan lebih rendah dan warna lebih keruh dibandingkan metode dingin, meskipun sering kali memiliki kadar air paling rendah dan stabilitas oksidatif yang baik (Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020). Dalam konteks pengembangan agroindustri kelapa di Indonesia, metode pemanasan pada produksi VCO dari santan menarik untuk dioptimalkan karena selaras dengan karakteristik skala usaha petani dan UMKM, serta memanfaatkan bahan baku lokal yang melimpah (Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025). Selain minyak, proses ini menghasilkan berbagai produk samping seperti blondo (sinusinu), skim santan, air kelapa, tempurung, dan sabut yang berpotensi diolah menjadi pangan, pakan, atau produk nonpangan bernilai tambah (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Namun, pada praktiknya, pengolahan VCO skala kecil umumnya masih bersifat empiris dengan pengaturan rasio santan, waktu, dan suhu pemanasan berdasarkan pengalaman, sehingga informasi kuantitatif mengenai aliran massa pada setiap tahap proses, rendemen aktual, serta besaran kehilangan (*losses*) bahan baku dan minyak belum terdokumentasi dengan baik.

Dalam rekayasa proses pangan, neraca massa atau material balance merupakan alat dasar untuk menganalisis dan merancang proses, karena menjamin bahwa seluruh massa yang masuk, keluar, dan tertahan dalam sistem dapat diakuntansikan berdasarkan asas kekekalan massa (Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025). Penerapan neraca massa memungkinkan perhitungan rendemen, efisiensi setiap unit operasi, serta identifikasi titik-titik kritis terjadinya kehilangan bahan atau minyak, sekaligus menjadi basis untuk optimasi tata letak peralatan dan penggunaan sumber daya (Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025). Dalam industri pangan, neraca massa juga menjadi persyaratan penting untuk sistem jaminan mutu dan ketertelusuran, karena mengharuskan seluruh bahan baku, produk antara, produk akhir, dan limbah dapat dipetakan secara kuantitatif (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan analisis neraca massa dan energi pada proses ekstraksi minyak kelapa dan VCO. Bajacan dkk. melakukan kajian neraca massa dan energi pada proses basah ekstraksi minyak kelapa untuk mengevaluasi efisiensi proses dan potensi pemanfaatan tempurung sebagai sumber energi panas proses (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Pestaño dkk. merancang teknologi produksi VCO yang menggabungkan metode *fresh-wet (modified kitchen method)* dan *fresh-dry (low-pressure oil extraction)* pada skala komunitas kecil-menengah, dan menyusun neraca massa rinci untuk seluruh unit operasi guna

menentukan rendemen VCO, aliran bahan, serta potensi pemanfaatan limbah menjadi komoditas bernilai tambah (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Studi lain juga menegaskan bahwa penyusunan neraca massa proses merupakan langkah mendasar dalam desain pabrik dan skala-up operasi ekstraksi minyak nabati. Meskipun demikian, sebagian besar kajian tersebut berfokus pada kombinasi metode basah dan kering, rancangan pabrik terpadu, atau analisis energi, sedangkan deskripsi kuantitatif yang terfokus pada neraca massa proses pembuatan VCO dari santan dengan metode pemanasan sederhana masih relatif terbatas. Keterbatasan data neraca massa yang spesifik untuk proses pemanasan santan menyulitkan upaya identifikasi tahap proses yang paling menentukan terhadap kehilangan minyak, perbandingan alternatif kondisi operasi, serta perancangan strategi peningkatan efisiensi dan pemanfaatan produk samping pada skala UMKM. Tanpa informasi distribusi massa minyak, air, dan padatan non-minyak pada setiap aliran proses—mulai dari parutan kelapa, santan, krim, fraksi minyak, hingga residu—pengembangan pedoman teknis dan desain peralatan yang berbasis bukti menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, analisis neraca massa yang sistematis pada proses pembuatan VCO dari santan menggunakan metode pemanasan (*hot process*) diperlukan untuk menyediakan dasar kuantitatif bagi perbaikan proses, peningkatan rendemen, dan pengelolaan produk samping.

Bertolak dari latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis neraca massa proses pembuatan *virgin coconut oil* dari santan kelapa menggunakan metode pemanasan pada skala laboratorium atau semi-industri yang merepresentasikan kondisi operasi UMKM pengolah kelapa. Analisis mencakup penetapan basis perhitungan, pengukuran massa pada setiap unit operasi utama, perhitungan rendemen minyak dan distribusi fase (minyak, air, dan padatan) pada berbagai aliran, serta identifikasi titik-titik kehilangan massa yang dominan. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi dasar perancangan dan optimasi proses VCO berbasis santan dengan metode pemanasan, serta memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan efisiensi bahan baku dan pemanfaatan produk samping dalam rangka pengembangan agroindustri kelapa yang lebih berkelanjutan dan bernilai tambah tinggi di Indonesia.

MATERI DAN METODE

Bahan dan basis perhitungan

Pendekatan berbasis neraca massa dipilih karena memberikan kerangka kuantitatif yang transparan untuk menelusuri aliran bahan, menghitung rendemen, serta mengidentifikasi titik-titik kehilangan massa (*losses*) pada proses agroindustri, sejalan dengan prinsip akuntansi bahan pangan yang dianjurkan dalam pedoman *Food Loss and Waste Protocol* dan *FAO* (Food Loss and Waste Protocol, 2016; FAO, 2019). Alat dan bahan penelitian disajikan pada Tabel 1, sedangkan diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

Komponen	Jenis	Spesifikasi/Keterangan
Kelapa parut	Bahan	2,65 kg kelapa parut dari daging kelapa tua segar; basis perhitungan neraca massa.
Air ekstraksi-1	Bahan	1,25 L (\approx 1,25 kg) air bersih untuk ekstraksi santan kental.
Air ekstraksi-2	Bahan	1,00 L (\approx 1,00 kg) air bersih untuk ekstraksi santan encer dari ampas pertama.

Komponen	Jenis	Spesifikasi/Keterangan
Santan kental	Bahan antara	1,85 kg; emulsi minyak-dalam-air dengan kadar lemak lebih tinggi ($\approx 20\%$ asumsi perhitungan minyak teoritis).
Santan encer	Bahan antara	2,00 kg; emulsi minyak-dalam-air dengan kadar lemak lebih rendah ($\approx 10\%$ asumsi perhitungan minyak teoritis).
VCO	Produk utama	0,50 kg minyak kelapa murni hasil filtrasi akhir bagian proses VCO.
Fase air (whey + air decant)	Produk samping	$\pm 2,75$ kg total; mengandung air buangan dan komponen terlarut santan.
Padatan basah (blondo + residu saring + cake filter)	Produk samping	$\pm 0,49$ kg; agregat protein, serat, dan sisa lemak hasil pemanasan dan penyaringan.
Ampas akhir ekstraksi	Produk samping	0,90 kg ampas basah setelah ekstraksi santan encer.
Wadah/panci stainless steel	Alat	Bejana untuk pemanasan santan dan pemisahan fase pada hot process.
Kain saring/media filtrasi	Alat	Untuk pemerasan santan dan penyaringan awal/akhir (residu saring dan cake filter).
Timbangan digital	Alat	Untuk pengukuran massa bahan baku, santan, VCO, fase air, ampas, dan residu lainnya.
Alat pemanas (kompor/pemanas listrik)	Alat	Sumber panas untuk pemanasan santan (pemecahan emulsi) dan pemanasan ulang minyak.
Wadah ukur (gelas ukur/bejana ukur)	Alat	Untuk pengukuran volume air ekstraksi dan penanganan santan.
Sendok/pengaduk stainless steel	Alat	Untuk pengadukan selama pemanasan dan pengambilan minyak pada permukaan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian
(Patil, U., & Benjakul, S, 2018)

Basis perhitungan ditetapkan sebesar 2,65 kg kelapa parut sebagai bahan baku utama. Massa jenis air diasumsikan 1,00 kg/L sehingga 1,25 L dan 1,00 L air yang ditambahkan setara dengan 1,25 kg dan 1,00 kg. Air ekstraksi digunakan dua kali: (i) 1,25 kg untuk menghasilkan santan kental dan (ii) 1,00 kg untuk menghasilkan santan encer dari ampas ekstraksi pertama. Total santan yang diperoleh sebagai umpan proses VCO terdiri atas 1,85 kg santan kental dan 2,00 kg santan encer dengan total 3,85 kg. Basis ini dipilih untuk merepresentasikan praktik ekstraksi santan bertahap yang lazim dalam produksi VCO skala kecil, di mana ekstraksi awal menghasilkan santan berlemak tinggi (santan kental), sedangkan ekstraksi lanjutan menghasilkan santan dengan kadar lemak lebih rendah (santan encer) (Ng *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018; Suryani *et al.*, 2020). Untuk mendukung perhitungan recovery minyak, kandungan lemak santan diasumsikan berada pada kisaran praktis yang dilaporkan untuk produk santan kental dan encer. Santan kental diasumsikan mengandung 20% lemak, sedangkan santan encer 10% lemak. Nilai-nilai ini merefleksikan pengaruh pengenceran terhadap kandungan lemak dan stabilitas emulsi santan, sebagaimana dijelaskan dalam kajian tentang kimia santan, peran lemak pada stabilitas emulsi, dan karakteristik santan komersial (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018; Chen *et al.*, 2024; Tetra Pak International S.A., 2025). Dengan asumsi tersebut, massa minyak teoritis dalam umpan santan dapat dihitung sebagai dasar penentuan recovery minyak.

Tahapan proses

Tahapan proses dirancang untuk merepresentasikan skenario proses basah (wet processing) berbantuan pemanasan yang banyak digunakan dalam produksi VCO skala rumah tangga dan UMKM (Ng *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025; Suryani *et al.*, 2020). Secara garis besar, rangkaian proses terdiri atas dua kelompok tahap: (i) ekstraksi santan dari kelapa parut dan (ii) pengolahan santan menjadi VCO menggunakan metode pemanasan.

Pada tahap ekstraksi santan, kelapa parut 2,65 kg dicampur dengan 1,25 kg air dan diaduk hingga homogen, kemudian diperas untuk memperoleh santan kental. Ampas basah hasil ekstraksi pertama diekstraksi kembali dengan penambahan 1,00 kg air untuk menghasilkan santan encer. Pemisahan antara santan dan ampas dilakukan melalui pemerasan dan penyaringan, sehingga diperoleh dua fraksi santan (kental dan encer) serta ampas basah. Strategi ekstraksi bertahap ini sejalan dengan praktik industri dan rumah tangga yang berupaya memaksimalkan perolehan lemak dari kelapa parut sambil mempertahankan konsistensi santan kental yang sesuai untuk pemrosesan lebih lanjut (Ng *et al.*, 2021; Patil & Benjakul, 2018; Tetra Pak International S.A., 2025).

Santan kental (1,85 kg) dan santan encer (2,00 kg) kemudian dicampur sehingga membentuk umpan proses VCO dengan total massa 3,85 kg. Umpan santan ini pertama-tama mengalami filtrasi awal untuk menghilangkan partikel kasar dan serat yang dapat mengganggu pemanasan dan pemisahan fase. Tahap filtrasi awal merepresentasikan praktik umum penggunaan kain saring atau media filtrasi sederhana dalam pengolahan santan (Patil & Benjakul, 2018; Ng *et al.*, 2021).

Tahap berikutnya adalah pemanasan (hot process) terhadap santan yang telah difiltrasi. Pemanasan dilakukan hingga terjadi pemecahan emulsi, koagulasi protein, dan pemisahan fase minyak–air–padatan. Santan sebagai emulsi minyak–dalam–air distabilkan oleh protein kelapa (albumin dan globulin) serta komponen permukaan lainnya; ketika dipanaskan, protein mengalami denaturasi dan koagulasi sehingga mengurangi stabilitas antarmuka dan memicu terbentuknya agregat padatan (blondo) serta pemisahan fase minyak (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Pemanfaatan pemanasan untuk mempercepat pemecahan emulsi dan pemisahan minyak telah dilaporkan dalam berbagai studi ekstraksi minyak kelapa berbasis air (Li *et al.*, 2018; Ng *et al.*, 2021; Suryani *et al.*, 2020).

Setelah pemanasan utama, campuran dibiarkan mengendap sehingga fase minyak kasar dapat dipisahkan dari fase air dan blonde melalui decanting atau pengambilan minyak di bagian atas. Fase air yang terpisah mengandung air buangan dan komponen terlarut (whey santan), sedangkan blonde merupakan agregat padatan (protein, serat, dan sisa lemak) yang dapat dikategorikan sebagai co-product potensial, misalnya untuk aplikasi pangan atau pakan (Ng *et al.*, 2021; Chaidir *et al.*, 2025; Suryani *et al.*, 2020). Minyak kasar kemudian dipanaskan kembali untuk menurunkan kadar

air dan meningkatkan kestabilan VCO, sebelum akhirnya difiltrasi pada tahap akhir untuk menghilangkan padatan halus dan memperoleh VCO yang jernih.

Rangkaian proses pemanasan dan pemisahan ini sejalan dengan konsep hot process yang digambarkan dalam literatur, di mana pemanasan digunakan bersama dengan pemisahan gravitasi dan filtrasi untuk mencapai pemisahan minyak yang efisien tanpa penggunaan bahan kimia atau teknologi pemisahan berteknologi tinggi (Ng *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018). Tahapan-tahapan tersebut juga menyoroti titik-titik potensial terjadinya *losses*, misalnya minyak yang tertinggal pada residu saring, blondo, dan permukaan alat (Food Loss and Waste Protocol, 2016; FAO, 2019).

Penyusunan neraca massa dan indikator kinerja

Neraca massa disusun dengan mengacu pada asas kekekalan massa, di mana jumlah massa yang masuk ke dalam sistem sama dengan jumlah massa yang keluar ditambah massa yang hilang sebagai *losses*. Secara umum, neraca massa total dinyatakan dengan Persamaan 1.

$$\Sigma m(in) = \Sigma m(out) + \Sigma m(losses) \quad (1)$$

Persamaan tersebut digunakan sebagai pemeriksa konsistensi perhitungan pada setiap tahap proses (ekstraksi santan dan pengolahan VCO) serta pada keseluruhan rangkaian. Pendekatan tersebut konsisten dengan kerangka akuntansi bahan pangan yang digunakan dalam *Food Loss and Waste Protocol* dan FAO, di mana aliran bahan dipetakan ke dalam kategori produk utama, co-product, dan *losses* (Food Loss and Waste Protocol, 2016; FAO, 2019).

Komponen utama yang dicatat dalam neraca massa meliputi: (i) VCO akhir sebagai produk utama, (ii) fase air (whey santan dan air hasil pemisahan), (iii) padatan basah (blondo dan residu filtrasi), (iv) uap air yang hilang melalui evaporasi selama pemanasan, serta (v) *losses* penanganan (bahan yang tertinggal di alat, kain saring, tumpah, atau tidak tertampung). Pendekatan ini memungkinkan identifikasi titik-titik kritis di mana bahan baku atau minyak hilang dari sistem bernilai tambah dan bergeser menjadi aliran limbah (Food Loss and Waste Protocol, 2016; FAO, 2019). Rendemen VCO terhadap santan dihitung dengan Persamaan 2.

$$\text{Rendemen VCO terhadap santan (\%)} = \frac{m(vco)}{m(santan)} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana, $m(vco)$ adalah massa VCO akhir dan $m(santan)$ adalah massa total santan umpan (3,85 kg). Selain itu, rendemen juga dapat dinyatakan terhadap massa kelapa parut untuk memberikan perspektif efisiensi pemanfaatan bahan baku. Recovery minyak dihitung dengan membandingkan massa VCO yang diperoleh dengan massa minyak teoritis dalam umpan santan pada **Persamaan 3**.

$$\text{Recovery minyak (\%)} = \frac{m(vco)}{m(minyak teoritis)} \times 100\% \quad (3)$$

Massa minyak teoritis dihitung dari kandungan lemak yang diasumsikan dalam santan kental dan encer pada **Persamaan 4**.

$$m(minyak teoritis) = (0,20 \times m(santan\ kental)) + (0,10 \times m(santan\ encer)) \quad (4)$$

Asumsi kadar lemak 20% untuk santan kental dan 10% untuk santan encer didasarkan pada kisaran komposisi yang dilaporkan untuk produk santan dan pengaruh pengenceran terhadap kandungan lemak serta stabilitas emulsi (Chen *et al.*, 2024; Tetra Pak International S.A., 2025; Patil & Benjakul, 2018). *Losses* total proses didefinisikan sebagai selisih antara massa total input dan jumlah massa yang terakumulasi dalam VCO, fase air, padatan basah, dan uap air. Klasifikasi ini mengikuti prinsip pelaporan *losses* yang memisahkan antara aliran produk bernilai ekonomi (produk utama dan co-product) dan aliran bahan yang hilang atau terkategori sebagai limbah (Food Loss and Waste Protocol, 2016; FAO, 2019). Dengan demikian, neraca massa yang dihasilkan tidak hanya memberikan gambaran kuantitatif mengenai distribusi massa, tetapi juga menyediakan dasar untuk analisis peluang pengurangan *losses* dan peningkatan pemanfaatan co-product pada proses pembuatan VCO dari santan menggunakan metode pemanasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Neraca massa ekstraksi santan

Neraca massa tahap ekstraksi santan kental dan santan encer dari kelapa parut dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Neraca massa ekstraksi santan

Tahap	Input (kg)	Output utama (kg)	Ampas basah (kg)	Losses (kg)
Ekstraksi-1 (kental)	3.90	Santan kental 1.85	Ampas-1 1.95	0.10
Ekstraksi-2 (encer)	2.95	Santan encer 2.00	Ampas-2 0.90	0.05

Tahap ekstraksi pertama (santan kental) menggunakan input total 3,90 kg yang terdiri atas 2,65 kg kelapa parut dan 1,25 kg air ekstraksi. Output utama berupa 1,85 kg santan kental dan 1,95 kg ampas basah, sedangkan losses penanganan tercatat 0,10 kg. Tahap ekstraksi kedua (santan encer) menggunakan input 2,95 kg (ampas pertama 1,95 kg dan air ekstraksi kedua 1,00 kg) dan menghasilkan 2,00 kg santan encer, 0,90 kg ampas basah, serta losses 0,05 kg.

Jika dinyatakan secara relatif, ekstraksi pertama menghasilkan santan kental sekitar 47,4% dari massa campuran awal, dengan ampas basah sekitar 50,0% dan losses sekitar 2,6%. Ekstraksi kedua memberikan santan encer sekitar 67,8% dari massa input, ampas sekitar 30,5%, dan losses sekitar 1,7%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa ekstraksi lanjutan masih memberikan kontribusi signifikan terhadap perolehan santan, namun dengan peningkatan fraksi air dan penurunan kandungan lemak santan, sejalan dengan konsep bahwa pengenceran berulang menurunkan kadar lemak dan meningkatkan instabilitas emulsi santan.

Secara fisik, perbedaan antara santan kental dan encer terkait erat dengan komposisi lemak dan stabilitas emulsi. Santan merupakan emulsi minyak-dalam-air yang distabilkan oleh protein kelapa (albumin dan globulin) serta komponen antarmuka lain; kadar lemak yang lebih tinggi pada santan kental meningkatkan interaksi antar-droplet minyak dan memengaruhi perilaku pemecahan fase pada tahap proses selanjutnya (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Kajian terbaru juga menegaskan bahwa kandungan lemak sangat menentukan stabilitas dan sifat pencernaan santan, sehingga strategi pengaturan kadar lemak melalui ekstraksi bertahap menjadi relevan bagi rancangan proses hilir, termasuk produksi VCO (Chen *et al.*, 2024; Tetra Pak International S.A., 2025).

Dari perspektif neraca massa, losses 0,10 kg dan 0,05 kg pada masing-masing tahap ekstraksi dapat diklasifikasikan sebagai kehilangan mekanis (misalnya bahan yang menempel pada alat, kain saring, atau tumpah). Pendekatan ini sejalan dengan standar akuntansi *Food Loss and Waste Protocol* dan FAO yang menekankan perlunya pemetaan eksplisit aliran bahan yang berakhir sebagai losses, terlepas dari nilainya yang relatif kecil dibanding aliran utama. Dengan kata lain, bahkan pada skala ilustratif, neraca massa ekstraksi santan menunjukkan bahwa bagian kecil bahan baku telah bergeser dari aliran bernilai ekonomi (santan atau ko-produk) ke aliran kehilangan, yang secara prinsip dapat dikurangi melalui perbaikan desain alat dan praktik operasional.

Neraca massa proses VCO dengan metode pemanasan

Neraca massa rinci untuk bagian proses VCO berbasis santan (3,85 kg) ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Neraca massa proses VCO berbasis santan

Tahap	Masuk (kg)	Keluar utama (kg)	Produk samping (kg)	Losses (kg)
Filtrasi awal	3.85	Filtrat 3.68	Residu saring 0.15	Loss 0.02
Pemanasan/pemisahan	3.68	Minyak kasar 0.60	Air 2.70; Blondo 0.33	Evap 0.03; Loss 0.02
<i>Decant</i>	0.60	Minyak 0.55	Air terikut 0.05	-
Pemanasan ulang	0.55	Minyak panas 0.515	-	Evap 0.03; Loss 0.005
Filtrasi akhir	0.515	VCO 0.50	Cake filter 0.01	Loss 0.005

Rangkaian operasi terdiri atas filtrasi awal, pemanasan/pemisahan, *decant*, pemanasan ulang, dan filtrasi akhir. Tahap filtrasi awal memproses 3,85 kg santan dan menghasilkan 3,68 kg filtrat sebagai umpan pemanasan, 0,15 kg residu saring, serta losses 0,02 kg. Tahap ini berfungsi mengurangi partikel kasar dan serat yang dapat mengganggu pemanasan dan pemisahan fase, sekaligus mengalihkan fraksi padatan tertentu ke aliran ko-produk ampas.

Tahap pemanasan/pemisahan merupakan inti dari hot process. Dari 3,68 kg santan terfiltrasi, pemanasan menghasilkan 0,60 kg minyak kasar, 2,70 kg fase air, dan 0,33 kg blondo, dengan evaporasi 0,03 kg dan losses 0,02 kg. Hasil ini menggambarkan pemecahan emulsi minyak-dalam-air yang sebelumnya distabilkan oleh protein kelapa dan komponen antarmuka lain; pemanasan memicu denaturasi dan koagulasi protein, sehingga droplet minyak bergabung dan membentuk fase minyak terpisah, sedangkan agregat protein dan padatan lain terakumulasi sebagai blondo (Patil & Benjakul, 2017; Patil & Benjakul, 2018). Studi pemanasan dan intervensi megasonik juga menunjukkan bahwa intensifikasi pemanasan dapat meningkatkan efisiensi pemisahan minyak dalam proses berbasis air, meskipun pengendalian parameter proses diperlukan untuk mencegah penurunan mutu minyak (Li *et al.*, 2018; Ng *et al.*, 2021).

Tahap *decant* memproses 0,60 kg minyak kasar dan memisahkannya menjadi 0,55 kg minyak dan 0,05 kg air terikut. Pengurangan air terikut ini penting sebagai prasyarat untuk stabilitas oksidatif dan mikrobiologis VCO pada penyimpanan jangka panjang (Suryani *et al.*, 2020; Narayanankutty *et al.*, 2018). Tahap pemanasan ulang terhadap 0,55 kg minyak menghasilkan 0,515 kg minyak panas dengan evaporasi tambahan 0,03 kg dan losses 0,005 kg, sedangkan filtrasi akhir terhadap 0,515 kg minyak panas menghasilkan 0,50 kg VCO sebagai produk akhir, 0,01 kg cake filter, dan losses 0,005 kg. Dengan demikian, bagian proses VCO sendiri menghasilkan ampas proses (residu saring + blondo + cake filter) sebesar 0,49 kg dan losses terakumulasi 0,05 kg.

Secara kuantitatif, tahapan pemanasan/pemisahan merupakan titik paling menentukan distribusi massa, karena pada tahap ini seluruh emulsi santan dikonversi menjadi tiga aliran utama: fase air ($\pm 71\%$ dari massa santan), minyak kasar ($\pm 15,6\%$), dan blondo ($\pm 8,6\%$), dengan sisanya berupa uap air dan losses. Peran blondo sebagai ko-produk menjadi signifikan, baik dari sisi massa maupun potensi nilai tambah, mengingat blondo mengandung protein, serat, dan sisa lemak. Kajian tentang pemanfaatan blondo sebagai substrat fermentasi bakteri asam laktat untuk meningkatkan rendemen dan mutu VCO menegaskan bahwa ko-produk ini dapat diintegrasikan kembali dalam skema proses yang lebih luas (Chaidir *et al.*, 2025).

Dari perspektif teknik proses, *losses* yang relatif kecil pada tahap filtrasi dan pemanasan (masing-masing 0,02 kg), serta pada pemanasan ulang dan filtrasi akhir (masing-masing 0,005 kg), menunjukkan bahwa walaupun skenario yang disajikan bersifat ilustratif, rancangan neraca massa menggambarkan operasi yang cukup terkendali. Namun, literatur menekankan bahwa pada praktiknya residu saring dan blondo sering masih mengandung minyak yang cukup besar, sehingga

optimasi waktu-suhu, strategi pengadukan, dan desain alat pemisahan berpotensi meningkatkan recovery minyak (Ng *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025).

Rekapitulasi neraca massa total dan distribusi aliran

Rekapitulasi neraca massa total dari kelapa parut hingga keluaran akhir proses dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi neraca massa total

Komponen	Massa (kg)	Keterangan
Input: Kelapa parut	2.65	Bahan baku utama
Input: Air ekstraksi-1	1.25	Untuk santan kental
Input: Air ekstraksi-2	1.00	Untuk santan encer
Output: VCO	0.50	Produk utama
Output: Fase air total	2.75	Air buangan (whey + air decant)
Output: Ampas proses VCO	0.49	Residu saring + blondo + cake filter
Output: Ampas akhir ekstraksi	0.90	Ampas basah setelah ekstraksi-2
Output: Uap air	0.06	Evaporasi selama pemanasan
Losses total	0.20	Tumpah/menempel/tertinggal
Total	4.90	IN = OUT + losses

Total input terdiri atas 2,65 kg kelapa parut, 1,25 kg air ekstraksi pertama, dan 1,00 kg air ekstraksi kedua, sehingga massa masuk sistem adalah 4,90 kg. Output utama berupa 0,50 kg VCO, 2,75 kg fase air (whey santan dan air decant), 0,49 kg ampas proses VCO (residu saring + blondo + cake filter), 0,90 kg ampas akhir ekstraksi, dan 0,06 kg uap air. Losses total sebesar 0,20 kg sehingga jumlah keluaran (4,70 kg) ditambah losses (0,20 kg) setara dengan massa input (4,90 kg), memenuhi asas neraca massa.

Rendemen VCO terhadap santan adalah 12,99%, sedangkan terhadap kelapa parut 18,87%. Nilai ini berada dalam kisaran rendemen moderat yang wajar untuk proses basah berbasis pemanasan, sebagaimana dilaporkan dalam tinjauan teknik ekstraksi minyak kelapa yang menunjukkan bahwa metode pemanasan cenderung menghasilkan rendemen lebih rendah dibanding metode berteknologi tinggi seperti sentrifugasi atau ekstraksi berbantuan megasonik, tetapi masih menarik untuk skala UMKM karena kesederhanaan dan kebutuhan investasi yang rendah (Ng *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018).

Dengan asumsi kadar lemak santan kental 20% dan santan encer 10%, minyak teoritis dalam umpan santan diperkirakan 0,57 kg. Perbandingan antara VCO yang dihasilkan (0,50 kg) dan minyak teoritis menunjukkan recovery minyak 87,72%. Artinya, sekitar 0,07 kg minyak (sekitar 12,3% dari minyak teoritis) masih tertahan dalam ampas proses (0,49 kg) dan ampas akhir ekstraksi (0,90 kg) atau terseret sebagai bagian dari losses penanganan. Hal ini konsisten dengan observasi bahwa residu padat (blondo dan residu saring) serta lapisan foam pada permukaan sering menjadi titik pengikatan minyak yang menyebabkan kehilangan rendemen pada proses basah, khususnya ketika pemisahan dan drainase tidak dilakukan secara optimal (Ng *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2018).

Dari sisi distribusi massa, fase air total (2,75 kg) merepresentasikan sekitar 71,4% dari massa santan umpan (3,85 kg), sedangkan ampas proses VCO (0,49 kg) sekitar 12,7% dan VCO 13,0%. Ampas akhir ekstraksi sebesar 0,90 kg menunjukkan bahwa proporsi padatan yang tidak terkonversi menjadi santan tetap signifikan, yang mencerminkan keterbatasan ekstraksi mekanis pada skala sederhana. Penggambaran kuantitatif ini sejalan dengan pendekatan *Food Loss and Waste Protocol* dan FAO yang menekankan perlunya pemetaan ko-produk dan aliran losses secara eksplisit untuk mendukung strategi pengurangan kehilangan pangan dan peningkatan pemanfaatan bahan baku.

Implikasi proses dan peluang pemanfaatan ko-produk

Pemetaan neraca massa menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil massa total yang berakhir sebagai VCO, sedangkan mayoritas dialirkan ke ko-produk berupa fase air, ampas proses, dan ampas akhir ekstraksi. Fase air 2,75 kg mencakup whey santan dan air decant yang mengandung padatan

terlarut, termasuk gula, mineral, serta fraksi protein/peptida yang dapat memiliki nilai nutrisi. Walaupun dalam skenario ini fase air diklasifikasikan sebagai air buangan, pendekatan neraca massa menggarisbawahi potensi pengembangannya sebagai bahan baku produk lain, misalnya minuman fermentasi atau media kultivasi mikroorganisme, sebagaimana ditekankan oleh kerangka pemanfaatan ko-produk dan pengurangan losses pada level rantai pasok pangan (*Food Loss and Waste Protocol*, 2016; FAO, 2019).

Ampas proses VCO (0,49 kg) yang terdiri atas residu saring, blondo, dan cake filter, serta ampas akhir ekstraksi (0,90 kg), merupakan fraksi padatan yang secara tradisional sering diasumsikan sebagai limbah. Namun, literatur menunjukkan bahwa blondo dan residu serupa dapat mengandung protein, serat, dan sisa lemak yang relevan untuk aplikasi pangan atau pakan. Pemanfaatan blondo sebagai substrat fermentasi bakteri asam laktat dalam metode chilling–thawing, misalnya, dilaporkan dapat meningkatkan rendemen dan mutu VCO, sekaligus memperluas portofolio produk berbasis kelapa (Chaidir *et al.*, 2025). Tinjauan komprehensif tentang teknik ekstraksi minyak kelapa juga menyoroti pentingnya pendekatan “zero-waste” yang melihat ampas sebagai ko-produk bernilai tambah, bukan sekadar residu (Ng *et al.*, 2021; Ferdian *et al.*, 2025).

Dari perspektif hilir, kualitas VCO yang dihasilkan sangat terkait dengan kandungan komponen bioaktif dan profil asam lemak yang telah dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan dan aplikasi kosmetik, seperti aktivitas anti-inflamasi, efek protektif kulit, dan potensi peran kardiometabolik maupun neuroprotektif (Narayanankutty *et al.*, 2018; Jayawardena *et al.*, 2020; Varma *et al.*, 2019; Konar *et al.*, 2020; Ramesh *et al.*, 2021). Dalam konteks ini, neraca massa yang secara eksplisit memisahkan aliran air, uap air, dan ampas membantu merancang kondisi pemanasan dan pemisahan yang meminimalkan degradasi komponen sensitif dan memastikan kadar air VCO cukup rendah untuk stabilitas oksidatif. Walaupun studi ini tidak mengukur parameter mutu secara langsung, kerangka neraca massa menyediakan platform kuantitatif yang dapat digabungkan dengan data mutu pada penelitian lanjutan, misalnya mengaitkan kadar air akhir dan parameter pemanasan dengan stabilitas oksidatif dan komposisi bioaktif VCO (Suryani *et al.*, 2020; Narayanankutty *et al.*, 2018).

Selain itu, keberadaan ko-produk dalam jumlah yang cukup besar mengindikasikan peluang untuk diversifikasi produk berbasis kelapa yang dapat meningkatkan nilai tambah sistem agroindustri. Hal ini sejalan dengan agenda pengurangan kehilangan dan pemborosan pangan yang menekankan perancangan ulang proses untuk menangkap nilai nutrisi dan energi dari aliran yang sebelumnya dikategorikan sebagai limbah (*Food Loss and Waste Protocol*, 2016; FAO, 2019).

Batasan studi dan agenda penelitian lanjutan

Beberapa batasan penting perlu dicatat untuk menempatkan temuan ini dalam konteks yang tepat. Pertama, neraca massa disusun sebagai studi kasus berbasis angka contoh (*worked example*), bukan hasil pengukuran eksperimental berulang di laboratorium atau industri. Dengan demikian, variasi nyata dalam praktik lapangan—misalnya perbedaan ukuran kelapa, efisiensi pemerasan, atau desain alat—tidak tercakup secara eksplisit. Kedua, perhitungan minyak teoritis bergantung pada asumsi kadar lemak 20% untuk santan kental dan 10% untuk santan encer, yang memang merepresentasikan kisaran praktis produk santan, tetapi tetap merupakan penyederhanaan terhadap variabilitas komposisi bahan baku (Tetra Pak International S.A., 2025; Chen *et al.*, 2024).

Ketiga, losses didefinisikan sebagai kategori agregat yang mencakup bahan yang menempel di alat, kain saring, tumpah, atau tidak tertampung, tanpa pemisahan rinci berdasarkan mekanisme atau titik kejadian. Meskipun pendekatan ini masih sejalan dengan prinsip akuntansi massa, pengukuran langsung di lapangan dengan pemisahan losses per unit operasi akan memberikan informasi yang lebih tajam untuk prioritas intervensi, sebagaimana dianjurkan dalam *Food Loss and Waste Protocol* dan laporan FAO tentang pengurangan kehilangan pangan.

Keempat, studi ini berfokus pada neraca massa tanpa memperhitungkan neraca energi, ekonomi, maupun mutu produk. Padahal, literatur menunjukkan bahwa mutu VCO (misalnya kadar air, kestabilan oksidatif, dan kandungan komponen bioaktif) sangat dipengaruhi oleh kondisi pemanasan dan strategi pemisahan (Suryani *et al.*, 2020; Narayanankutty *et al.*, 2018). Integrasi

neraca massa dengan data energi dan mutu akan memungkinkan analisis trade-off antara rendemen, konsumsi energi, dan kualitas produk, yang penting untuk desain proses yang berkelanjutan.

Ke depan, agenda penelitian dapat diarahkan pada beberapa aspek. Pertama, verifikasi neraca massa dengan data eksperimental di skala laboratorium dan UMKM, termasuk pengukuran kadar lemak aktual santan kental dan encer, kandungan lemak dalam blondo dan ampas, serta karakteristik kimia fase air. Kedua, eksplorasi teknologi intensifikasi proses seperti pemanasan berbantuan megasonik, gelombang mikro, atau kombinasi dengan metode chilling–thawing, yang telah dilaporkan dapat meningkatkan pemisahan minyak dalam proses berbasis air (Li *et al.*, 2018; Chaidir *et al.*, 2025). Ketiga, kajian pemanfaatan ko-produk (blondo, ampas, dan fase air) sebagai bahan baku produk pangan, pakan, atau bahan fungsional, selaras dengan konsep “zero-waste” yang diusung dalam tinjauan teknik ekstraksi minyak kelapa (Ng *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan neraca massa mampu menggambarkan secara kuantitatif kinerja proses pembuatan *virgin coconut oil* (VCO) dari santan menggunakan metode pemanasan (*hot process*) yang merepresentasikan praktik rumah tangga dan UMKM. Dengan basis 2,65 kg kelapa parut dan 2,25 kg air proses, neraca massa total tertutup dengan baik pada massa masukan 4,90 kg, menegaskan konsistensi internal proses dan validitas pendekatan akuntansi massa yang diterapkan. Secara kinerja, proses menghasilkan 0,50 kg VCO, setara dengan rendemen 12,99% terhadap santan dan 18,87% terhadap kelapa parut. Dibandingkan minyak teoritis sebesar 0,57 kg, nilai tersebut mencerminkan oil recovery 87,72%, sementara sekitar 12% minyak potensial masih tertahan pada fraksi padat (blondo, residu saring, dan ampas) atau hilang sebagai *losses* mekanis. Temuan ini menegaskan bahwa tahap pemanasan–pemisahan merupakan titik paling menentukan dalam distribusi massa dan efisiensi perolehan minyak pada *hot process*.

Neraca massa juga memperjelas bahwa sebagian besar massa proses tidak berakhir sebagai produk utama, melainkan terdistribusi pada fase air ($\pm 2,75$ kg) dan ko-produk padat ($\pm 1,39$ kg). Dengan pemetaan yang eksplisit, fraksi-fraksi tersebut tidak lagi dipandang semata sebagai limbah, tetapi sebagai ko-produk potensial yang masih mengandung nutrisi dan sisa minyak. Perspektif ini menempatkan neraca massa sebagai alat strategis, tidak hanya untuk evaluasi teknis, tetapi juga untuk perencanaan peningkatan nilai tambah dan pengurangan *food loss and waste* pada agroindustri kelapa skala kecil. Kontribusi utama studi ini terletak pada pembumih konsep neraca massa—yang lazim diterapkan pada industri skala besar—ke dalam konteks proses VCO sederhana. Pelacakan aliran bahan pada setiap unit operasi memungkinkan identifikasi titik kehilangan secara jelas, sekaligus menyediakan dasar kuantitatif yang dapat direplikasi untuk membandingkan alternatif kondisi operasi, desain peralatan, dan strategi pemanfaatan ko-produk pada level UMKM. Keterbatasan studi ini terutama terletak pada sifatnya sebagai *worked example* berbasis satu siklus proses, penggunaan asumsi kadar lemak santan, serta pengelompokan *losses* secara agregat tanpa pemisahan rinci per unit operasi. Selain itu, analisis belum mencakup aspek energi, ekonomi, dan mutu produk. Berdasarkan hal tersebut, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada: (i) verifikasi neraca massa dengan data eksperimental berulang pada skala laboratorium dan UMKM, termasuk pengukuran kadar lemak aktual pada setiap fraksi; (ii) integrasi neraca massa dengan neraca energi, biaya, dan parameter mutu VCO untuk mengevaluasi *trade-off* efisiensi–kualitas; serta (iii) pengembangan pemanfaatan ko-produk cair dan padat dalam kerangka proses berbasis zero waste. Secara keseluruhan, studi ini menegaskan bahwa neraca massa merupakan fondasi analitis yang kuat untuk meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan nilai tambah produksi VCO berbasis santan dengan metode pemanasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaidir, R., Soesilo, T., Mawardi, M., & Ilmi, M. (2025). Optimizing virgin coconut oil yield and quality using lactic acid bacteria (LAB) from blondo with chilling-thawing method. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 12(1), 55-67. <https://doi.org/10.55981/jbbi.2025.9246>
- Chen, Y., Zhang, Z., Chen, Y., Li, T., & Zhang, W. (2024). The role of fat content in coconut milk: Stability and digestive properties. *Food Chemistry*, 446, 138900. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138900>
- Ferdian, M. A., Leksono, A. S., Zairina, A., Suprayitno, D. (2025). GC-MS Profiling of Bioactive Components in Citronella and Castor Oil: Implications for Sustainable Insecticide Development. *Düzce Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(2), 95-103.
- Food Loss and Waste Protocol. (2016). Food loss and waste accounting and reporting standard. World Resources Institute.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. FAO.
- Jayawardena, R., Swarnamali, H., Lanerolle, P., & Ranasinghe, P. (2020). Effect of coconut oil on cardio-metabolic risk: A systematic review and meta-analysis of interventional studies. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(6), 2007-2020.
- Konar, M. C., Islam, K., Roy, A., & Ghosh, T. (2020). Effect of virgin coconut oil application on the skin of preterm newborns: A randomized controlled trial. *Journal of Tropical Pediatrics*, 66(2), 129-135.
- Li, X., Martínez-Padilla, L. P., Xu, X.-Q., Zisu, B., & Juliano, P. (2018). Heating and megasonic interventions for improvement of aqueous-based oil extraction from fresh and cold stored coconut meat. *Journal of Food Engineering*, 222, 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.010>
- Narayanankutty, A., Illam, S. P., & Raghavamenon, A. C. (2018). Health impacts of different edible oils prepared from coconut (*Cocos nucifera*): A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 1-7.
- Ng, Y. J., Tham, P. E., Khoo, K. S., Cheng, C. K., Chew, K. W., & Show, P. L. (2021). A comprehensive review on the techniques for coconut oil extraction and its application. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 44, 1807-1818. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02577-9>
- Patil, U., & Benjakul, S. (2017). Characteristics of albumin and globulin from coconut meat and their role in emulsion stability without and with proteolysis. *Food Hydrocolloids*, 69, 220-228.
- Patil, U., & Benjakul, S. (2018). Coconut milk and coconut oil: Their manufacture associated with protein functionality. *Journal of Food Science*, 83(8), 2019-2027.
- Ramesh, S. V., Krishnan, A., Praveen, K., & Hebbar, K. B. (2021). Dietary prospects of coconut oil for the prevention and treatment of Alzheimer's disease (AD): A review of recent evidences. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 201-211.
- Suryani, S., Sariyani, S., Earnestly, F., Marganof, M., Rahmawati, R., Sevindrajuta, S., Mahlia, T. M. I., & Fudholi, A. (2020). A comparative study of virgin coconut oil, coconut oil and palm oil in terms of their active ingredients. *Processes*, 8, 402. <https://doi.org/10.3390/pr8040402>
- Tetra Pak International S.A. (2025). The chemistry of coconut milk and cream. *Coconut Handbook*. (Online resource).

Varma, S. R., Sivaprakasam, T. O., Arumugam, I., Dilip, N., Raghuraman, M., Pavan, K., Rafiq, M., & Paramesh, R. (2019). In vitro anti-inflammatory and skin protective properties of virgin coconut oil. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 9(1), 5-14.