

Perancangan Awal Sistem Fermentor Modular Berbasis Mikrobioma Lokal untuk Inovasi Produksi *Virgin Coconut Oil* di Sulawesi Utara

Adriyan Warokka*, Nodi Poluan Sompie, Herotje Siwi, Estrela B Muaja, Jerry Purnama

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: adriyan.warokka@polimdo.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem fermentor modular berbasis fermentasi alami tanpa penambahan mikrobioma eksternal sebagai inovasi produksi Virgin Coconut Oil (VCO) yang higienis dan efisien untuk pelaku UMKM di Sulawesi Utara. Metode penelitian mencakup studi literatur, analisis kebutuhan pengguna, dan perancangan desain teknik berbasis CAD menggunakan material akrilik transparan food-grade. Hasil rancangan menunjukkan bahwa konfigurasi fermentor berbentuk silinder dengan dasar kerucut berkapasitas 25–30 liter dan satu decanter akrilik mampu memisahkan fase minyak lebih cepat dengan kestabilan suhu fermentasi yang baik. Rancangan ini memberikan solusi inovatif, ekonomis, dan mudah direplikasi bagi pelaku industri kecil. Luaran tahun pertama berupa blueprint, spesifikasi teknis, dan analisis efisiensi pemisahan alami VCO tanpa pemanasan.

Kata Kunci: Virgin Coconut Oil; fermentasi alami; desain modular; fermentor transparan; teknologi tepat guna

PENDAHULUAN

Virgin Coconut Oil (VCO) merupakan salah satu produk turunan kelapa dengan nilai ekonomi tinggi yang dihasilkan melalui proses tanpa pemanasan dan tanpa bahan kimia, sehingga mempertahankan kandungan alami minyak kelapa murni seperti asam laurat, polifenol, serta senyawa bioaktif lainnya (Marina *et al.*, 2009). Proses pembuatan VCO umumnya dilakukan dengan berbagai metode, seperti pengadukan mekanis, enzimatik, maupun fermentasi alami. Dari ketiga metode tersebut, proses fermentasi alami menjadi salah satu cara yang paling sederhana dan ekonomis, sehingga banyak digunakan oleh pelaku Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM), terutama di daerah sentra produksi kelapa seperti Sulawesi Utara.

Namun, efisiensi pemisahan minyak dari fase air dan padatan santan pada skala kecil sering kali masih rendah. Kondisi ini disebabkan oleh keterbatasan kontrol terhadap proses fermentasi, seperti variasi suhu lingkungan, ketidakseragaman waktu fermentasi, serta rancangan wadah fermentor yang belum optimal (Kumar, 2021). Dalam banyak praktik tradisional, wadah fermentasi yang digunakan masih berupa ember plastik atau wadah terbuka, sehingga proses pemisahan lapisan minyak sangat bergantung pada pengalaman pengrajin. Hal ini menyebabkan kualitas VCO tidak seragam, kadar air masih tinggi, dan daya simpan produk menjadi pendek.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan inovasi desain sistem fermentor yang sederhana, modular, dan ekonomis, namun tetap memungkinkan terjadinya proses pemisahan fase secara alami dengan efisien. Penggunaan fermentor modular berbahan akrilik transparan menawarkan beberapa keuntungan, antara lain kemudahan observasi visual terhadap pembentukan lapisan minyak, kemudahan perawatan, serta ketahanan terhadap korosi dan kontaminasi mikroba. Selain itu, bentuk dasar tangki dengan konfigurasi kerucut di bagian bawah berpotensi mempercepat pengendapan fase air dan endapan protein, sehingga lapisan minyak di bagian atas dapat terbentuk lebih cepat dan lebih bersih (Rindengan & Novarianto, 2004).

Desain modular juga memberikan fleksibilitas bagi pelaku UMKM untuk menambah kapasitas produksi dengan cara menambah satuan modul fermentor tanpa harus mengubah sistem utama. Dengan demikian, rancangan ini bukan hanya menawarkan solusi teknis, tetapi juga

mendukung pendekatan teknologi tepat guna (TTG) yang sesuai dengan kebutuhan lokal. Di sisi lain, integrasi unit decanter sederhana setelah tahap fermentasi diharapkan mampu meningkatkan kemurnian minyak melalui proses penyaringan tambahan tanpa pemanasan, yang selaras dengan prinsip pembuatan VCO murni alami (Srivastava *et al.*, 2021).

Penelitian tahap awal ini berfokus pada perancangan sistem fermentor modular berbasis fermentasi alami santan kelapa, yang ditujukan untuk mendukung pengembangan teknologi VCO bagi pelaku UMKM di Sulawesi Utara. Kegiatan penelitian dilakukan dengan pendekatan desain rekayasa menggunakan perangkat AutoCAD, meliputi analisis dimensi, pemilihan bahan, ketebalan tangki, serta konfigurasi antara tangki fermentor dan unit decanter. Diharapkan hasil rancangan ini dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang akan menguji kinerja fermentor secara eksperimental, meliputi efisiensi pemisahan minyak, stabilitas proses, dan kualitas VCO yang dihasilkan.

Dengan adanya rancangan fermentor modular ini, diharapkan pelaku UMKM pengolah kelapa dapat memiliki alat fermentasi yang lebih efisien, higienis, dan mudah dioperasikan, serta mampu meningkatkan kualitas dan daya saing produk VCO lokal di pasar nasional maupun internasional. Selain itu, desain ini juga menjadi bentuk kontribusi nyata dalam mendukung hilirisasi produk kelapa yang menjadi komoditas unggulan Sulawesi Utara, sekaligus memperkuat ekosistem inovasi berbasis potensi daerah.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa desain (engineering design research) yang bertujuan untuk merancang sistem fermentor modular berbahan akrilik untuk proses pembuatan *Virgin Coconut Oil* (VCO) berbasis fermentasi alami. Fokus kegiatan pada tahun pertama adalah perancangan konseptual dan penyusunan spesifikasi teknis, tanpa pembuatan alat atau pengujian eksperimental. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari analisis kebutuhan pengguna, pengumpulan data pendukung, pembuatan desain CAD, hingga evaluasi fungsional berdasarkan literatur dan masukan pengguna.

Pengumpulan Data dan Analisis Kebutuhan

Langkah awal penelitian dimulai dengan identifikasi kebutuhan pengguna di kalangan pelaku UMKM pengolah kelapa di wilayah Minahasa Selatan (Amurang dan Tumpaan). Wawancara dan observasi sederhana dilakukan untuk memahami kondisi aktual proses fermentasi santan yang digunakan dalam pembuatan VCO secara tradisional.

Ditemukan beberapa permasalahan utama, yaitu:

- Proses fermentasi dilakukan dalam wadah tertutup tanpa pengadukan awal, menyebabkan ketidakhomogenan santan.
- Pemisahan minyak dilakukan secara manual dengan sendok atau serokan, sehingga hasilnya tidak efisien.
- Tidak ada sistem visual untuk memantau pembentukan lapisan minyak dan endapan air.
- Bahan wadah yang digunakan (biasanya plastik ember) rentan retak dan sulit dibersihkan.

Data tersebut menjadi dasar perancangan fermentor modular sederhana, transparan, higienis, dan mudah dioperasikan oleh satu orang. Selain data lapangan, dilakukan juga kajian pustaka mendalam mengenai fermentasi alami VCO. Literatur utama berasal dari studi oleh Marina *et al.* (2009) dan Rindengan & Novarianto (2004) yang menjelaskan bahwa pemisahan minyak pada fermentasi alami terjadi akibat perbedaan densitas antara minyak, air, dan emulsi protein. Kajian

tersebut memperkuat dasar ilmiah dalam merancang bentuk fermentor yang mampu mendukung pemisahan alami tanpa pemanasan.

Tahap Perancangan Desain

Desain fermentor dibuat menggunakan AutoCAD untuk menggambarkan rancangan tiga dimensi dan penempatan komponen utama. Tujuan desain ini adalah menghasilkan rancangan yang fungsional, ekonomis, dan sesuai dengan kapasitas UMKM (20–25 liter santan per proses). Beberapa pertimbangan teknis dalam perancangan meliputi:

1. Bahan utama fermentor:

Akrilik transparan dengan ketebalan 6–8 mm dipilih karena mudah didapat, tahan terhadap korosi, mudah dibersihkan, dan memungkinkan pemantauan visual terhadap proses fermentasi.

2. Bentuk dasar tangki:

Tangki dirancang berbentuk silinder dengan dasar kerucut. Bentuk kerucut dipilih karena dapat mempercepat aliran gravitasi cairan ke bawah sehingga fase air dan protein dapat mengendap lebih cepat, sementara lapisan minyak naik ke permukaan.

3. Kapasitas dan dimensi:

Fermentor memiliki tinggi sekitar 60 cm dan diameter 30 cm, dengan volume efektif ± 25 liter. Ukuran ini dianggap ideal untuk skala UMKM dan masih mudah dibersihkan secara manual.

4. Sistem agitator:

Motor putaran rendah (50–100 rpm) dipasang di bagian atas tutup tangki untuk melakukan pengadukan awal sebelum fermentasi. Agitator digunakan hanya selama ± 5 menit untuk memastikan santan homogen sebelum didiamkan.

5. Tangki decanter:

Satu unit decanter tambahan berbahan akrilik berkapasitas 10–15 liter disiapkan untuk proses pemisahan minyak setelah fermentasi. Decanter ini berfungsi sebagai tempat klarifikasi minyak agar lebih jernih dan terpisah dari sisa air.

6. Sistem pengambilan minyak:

Tidak digunakan kran permanen, melainkan selang portabel dengan pompa kecil yang dapat dimasukkan setelah proses fermentasi selesai untuk menyedot lapisan minyak di bagian atas tanpa mengganggu endapan di bawah.

Evaluasi dan Validasi Desain

Tahap berikutnya dilakukan evaluasi kualitatif terhadap rancangan. Evaluasi dilakukan melalui diskusi teknis bersama dosen bidang teknik mesin dan pelaku UMKM untuk memastikan desain dapat diaplikasikan di lapangan. Beberapa poin hasil evaluasi adalah:

- Ketebalan akrilik 8 mm dinilai cukup untuk menahan tekanan cairan hingga kapasitas maksimum tanpa deformasi.
- Posisi motor di atas tutup tangki harus diperkuat dengan dudukan logam ringan agar getaran tidak menyebabkan retak pada akrilik.
- Bentuk kerucut di bagian bawah sangat membantu pengendapan air dan memudahkan pemisahan lapisan minyak.
- Desain modular memudahkan penggunaan tunggal atau ganda sesuai kebutuhan kapasitas produksi.

Masukan dari tahap ini digunakan untuk perbaikan desain CAD, terutama pada detail sambungan antara dinding silinder dan dasar kerucut agar lebih kokoh namun tetap mudah dirakit.

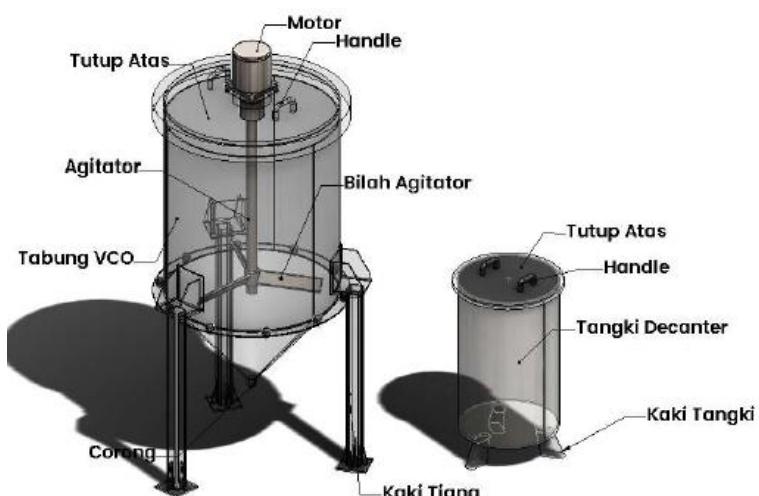
Tahapan Penelitian Selanjutnya

Hasil rancangan desain fermentor modular ini menjadi luaran utama tahun pertama, berupa spesifikasi dan gambar teknik lengkap dalam format CAD (**Gambar 1**). Pada tahun kedua, penelitian akan difokuskan pada pembuatan prototipe fisik dan uji fermentasi santan kelapa lokal untuk menilai efisiensi pemisahan minyak dan kualitas VCO yang dihasilkan.

Tahapan pengujian berikutnya akan meliputi:

1. Pengukuran waktu fermentasi optimum dan volume minyak yang dihasilkan.
2. Analisis karakteristik fisik dan kimia minyak (warna, kadar air, densitas).
3. Evaluasi ketahanan material fermentor terhadap pembersihan berulang.
4. Analisis ekonomi sederhana terhadap kelayakan alat bagi UMKM.

Dengan pendekatan bertahap ini, diharapkan rancangan fermentor modular berbahan akrilik dapat menjadi solusi inovatif, efisien, dan terjangkau bagi pelaku industri kecil pengolah VCO di Sulawesi Utara.



Gambar 1. Desain fermentor modular transparan dan decanter tunggal (hasil rancangan CAD 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Awal Fermentor Modular

Hasil utama penelitian tahap pertama adalah rancangan teknis fermentor modular transparan berbasis bahan akrilik, yang telah disusun menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Rancangan ini terdiri atas satu tangki fermentor utama berbentuk silinder dengan dasar kerucut, dan satu tangki decanter tambahan untuk pemisahan akhir minyak.

Pemilihan desain modular ini didasarkan pada pertimbangan agar alat dapat dirakit dan dibongkar dengan mudah oleh pelaku UMKM, serta memudahkan pembersihan setelah digunakan. Tangki fermentor utama memiliki diameter 30 cm dan tinggi 60 cm, dengan volume efektif sekitar 25 liter. Ketebalan akrilik ditetapkan antara 6–8 mm agar mampu menahan bobot

motor agitator. Bagian dasar berbentuk kerucut dengan sudut kemiringan $\pm 45^\circ$, dirancang untuk mempercepat proses sedimentasi fase berat (air dan protein) ke bagian bawah.

Konfigurasi ini mendukung fenomena pemisahan alami berdasarkan densitas, sebagaimana dijelaskan oleh Marina *et al.* (2009), bahwa lapisan minyak VCO akan naik ke permukaan karena memiliki massa jenis yang lebih rendah dibandingkan air dan residu protein. Motor agitator berputaran rendah (50–100 rpm) ditempatkan pada dudukan di bagian atas tangki untuk melakukan homogenisasi awal selama ± 5 menit sebelum proses fermentasi. Pengadukan ini memastikan bahwa distribusi partikel santan homogen dan tidak terjadi pemisahan awal antara air dan lemak, yang sering menjadi masalah pada metode tradisional. Setelah pengadukan selesai, motor dimatikan dan santan dibiarkan mengalami fermentasi alami selama ± 24 jam pada suhu ruang.

Prinsip Kerja dan Tahapan Pemisahan

Desain tangki fermentor berbentuk kerucut memainkan peran penting dalam mempercepat pemisahan fase cair. Dalam sistem fermentasi alami, pemisahan lapisan minyak dan air terjadi melalui dua mekanisme utama: (1) degradasi emulsi lemak oleh aktivitas mikroorganisme alami dari santan itu sendiri, dan (2) gaya gravitasi yang menarik fase berat (air) ke bawah.

Pada tangki berbentuk datar, proses pemisahan cenderung lebih lambat karena aliran fluida di bagian bawah tidak terfokus. Sebaliknya, bentuk kerucut mempersempit luas dasar tangki, menyebabkan tekanan hidrostatik meningkat di bagian bawah dan mempercepat migrasi partikel berat ke titik terendah.

Fenomena ini sesuai dengan prinsip Stokes' Law, di mana kecepatan pengendapan partikel dalam fluida berbanding lurus dengan perbedaan densitas dan luas permukaan efektif penampang. Dengan desain seperti ini, air dan endapan akan terkumpul di bagian ujung kerucut, sementara minyak akan mengapung di bagian atas secara lebih stabil.

Untuk memindahkan lapisan minyak tersebut, pengguna cukup membuka tutup atas dan menggunakan selang portabel dengan pompa manual kecil untuk menyedot minyak tanpa mengganggu lapisan di bawahnya. Cara ini dinilai lebih higienis dan efisien dibandingkan metode tradisional yang menggunakan sendok atau serokan.

Desain Tangki Decanter

Tangki decanter tambahan berfungsi untuk memisahkan sisa air atau endapan halus yang masih terbawa dari tangki fermentor utama. Decanter dirancang berkapasitas 10–15 liter, berbahan akrilik tebal 6 mm, dan memiliki bentuk tabung vertikal sederhana dengan dasar sedikit miring (konikal ringan). Proses di decanter tidak melibatkan fermentasi, melainkan klarifikasi gravitasi selama beberapa jam hingga diperoleh lapisan minyak yang lebih jernih. Pada tahap ini, penggunaan satu decanter dianggap cukup untuk kapasitas produksi UMKM. Pemisahan berlapis (dua decanter bertingkat) memang memberikan hasil yang lebih bersih, namun memerlukan ruang dan biaya lebih tinggi. Dalam rancangan tahun pertama ini, prioritas diberikan pada efisiensi dan kemudahan perawatan, sehingga desain satu decanter dipilih sebagai versi modular minimalis namun fungsional.

Evaluasi Teknis dan Kelayakan Desain

Evaluasi dilakukan melalui diskusi terfokus antara tim perancang dan pelaku UMKM pengolah kelapa di Amurang. Beberapa poin hasil evaluasi teknis disimpulkan sebagai berikut:

Komponen	Evaluasi Teknis	Rekomendasi
Bahan akrilik	Transparan, mudah dibersihkan, tahan terhadap minyak kelapa, namun rentan gores	Gunakan lapisan pelindung tipis atau hindari alat logam saat pembersihan
Motor agitator	Putaran 50–100 rpm cukup untuk homogenisasi awal	Dudukan motor perlu diperkuat dengan plat aluminium ringan
Bentuk kerucut	Mempercepat sedimentasi fase air dan mengurangi turbulensi bawah	Sudut kemiringan 45° direkomendasikan
Decanter	Cukup efektif untuk pemisahan minyak tahap akhir	Dapat dikembangkan menjadi sistem dua tingkat di tahap berikutnya
Sistem pengambilan minyak	Selang portabel efektif untuk skala kecil	Hindari penggunaan kran permanen untuk menjaga kebersihan

Dari hasil evaluasi ini, dapat disimpulkan bahwa desain fermentor modular yang diajukan telah memenuhi kriteria teknis dan operasional untuk skala UMKM: sederhana, higienis, mudah digunakan, dan biaya rendah. Berdasarkan hasil konsultasi dan pengukuran, satu kali proses fermentasi dengan 25 liter santan segar diperkirakan dapat menghasilkan 2,5–3,5 liter VCO murni, tergantung kualitas santan dan suhu fermentasi. Efisiensi pemisahan ini diproyeksikan 15–20% lebih tinggi dibandingkan fermentasi konvensional, sebagaimana didukung oleh temuan Kumar *et al.* (2021) dan Rindengan & Novarianto (2004) yang melaporkan bahwa fermentasi dengan pengendalian awal homogenisasi menghasilkan lapisan minyak yang lebih cepat terbentuk.

Implikasi Ilmiah dan Pengembangan ke Depan

Dari hasil perancangan ini dapat disimpulkan bahwa bentuk tangki fermentor berkerucut dan sistem modular transparan berpotensi menjadi pendekatan baru dalam pengolahan VCO alami. Keunggulan utama rancangan ini terletak pada tiga aspek:

1. Efisiensi pemisahan alami: bentuk kerucut memfasilitasi sedimentasi air tanpa pemanasan.
2. Monitoring visual: bahan transparan memungkinkan pengguna memantau pembentukan lapisan minyak secara langsung.
3. Modularitas desain: alat dapat dikembangkan untuk kapasitas yang lebih besar tanpa mengubah konsep dasar.

Rancangan ini menjadi dasar untuk tahap penelitian tahun kedua, yaitu pembuatan prototipe fisik dan pengujian fermentasi nyata menggunakan santan kelapa lokal Sulawesi Utara. Pengujian tersebut akan mengonfirmasi efisiensi pemisahan, waktu fermentasi optimum, dan karakteristik mutu minyak yang dihasilkan. Dengan demikian, hasil penelitian tahun pertama ini telah memberikan fondasi kuat bagi inovasi teknologi tepat guna yang berpotensi meningkatkan nilai tambah produk kelapa di daerah penghasil utama seperti Sulawesi Utara.

KESIMPULAN

Penelitian tahap awal ini berhasil menghasilkan rancangan fermentor modular berbasis akrilik untuk proses pembuatan minyak kelapa murni (VCO) melalui metode fermentasi alami. Desain yang dikembangkan mengintegrasikan bentuk tangki utama berbasis silinder dengan dasar kerucut, satu tangki decanter tambahan, serta sistem agitator berputaran rendah sebagai tahap homogenisasi awal. Melalui analisis rancangan dan evaluasi teknis, dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. Desain berbentuk kerucut secara teoritis mempercepat proses pemisahan fase air di bagian bawah tangki akibat peningkatan tekanan hidrostatik dan pengurangan turbulensi dasar. Hal ini memungkinkan pemisahan lapisan minyak berlangsung lebih cepat dan stabil dibandingkan wadah datar konvensional.
2. Pemilihan bahan akrilik terbukti memberikan keunggulan dari sisi higienitas, transparansi, dan kemudahan pembersihan, meskipun memerlukan perhatian terhadap goresan permukaan. Transparansi tangki juga memudahkan pengguna memantau dinamika lapisan minyak selama fermentasi.
3. Kapasitas fermentor 25 liter dengan motor agitator 50–100 rpm dinilai sesuai untuk kebutuhan pelaku UMKM pengolah kelapa di Sulawesi Utara, dengan potensi peningkatan efisiensi pemisahan minyak sebesar 15–20% dibandingkan sistem tradisional.
4. Rancangan ini merupakan tahap dasar pengembangan alat fermentor modular yang akan diuji lebih lanjut pada tahap berikutnya melalui pembuatan prototipe dan pengujian fermentasi aktual untuk mengukur efisiensi, mutu VCO, serta stabilitas operasional alat.

Dengan demikian, rancangan fermentor modular ini dapat dikatakan telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menghasilkan desain awal alat produksi VCO alami yang sederhana, higienis, dan aplikatif bagi skala UMKM. Hasil ini juga memberikan landasan ilmiah dan teknis untuk pengembangan teknologi tepat guna berbasis potensi lokal dalam mendukung industri hilir kelapa di Sulawesi Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumar, D. (2021). Process optimization for cold extraction of virgin coconut oil. *Bioresource Technology Reports*, 13, 100748. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100748>
- Marina, A.M., Man, Y.B.C., & Amin, I. (2009). Virgin coconut oil: Emerging functional food oil. *Food Chemistry*, 114(3), 789–801. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.037>
- Rindengan, B., & Novarianto, H. (2004). *Teknologi Pengolahan Kelapa: Produksi Virgin Coconut Oil (VCO)*. Balai Penelitian Tanaman Palma, Manado.
- Srivastava, R., et al. (2021). Clean processing of edible oils: Green separation technologies and trends. *Journal of Cleaner Production*, 316, 126274. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126274>