

PERANCANGAN TABUNG REAKTOR DESTILASI *MICROWAVE-ASSISTED HYDRO DISTILLATION* SKALA INDUSTRI RUMAHAN

Sabdha Purna Yudha¹, Dwi Setyorini², Achmad Qodim Syafaatullah.³

¹ Prodi Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik ATI Makassar
1sabdha@atim.ac.id

^{2,3} Prodi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar
2dwi@atim.ac.id

3achmadqodims@atim.ac.id

Abstrak— Penelitian ini menyajikan perancangan inovatif tabung reaktor untuk Microwave-Assisted Hydro Distillation (MAHD) yang dioptimalkan untuk produksi minyak atsiri skala industri rumahan. MAHD, sebagai alternatif efisien terhadap metode destilasi konvensional, diaplikasikan melalui desain reaktor baru yang mempertimbangkan optimasi perpindahan panas dan efisiensi energi. Reaktor ini dirancang menggunakan stainless steel 304 dengan kapasitas 30-50 liter dan diintegrasikan dengan sistem pemanasan microwave (500-2000 W) serta sistem pendingin kondensor pipa tembaga. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan rendemen minyak atsiri hingga 30% dibandingkan metode destilasi air konvensional, dengan waktu ekstraksi yang lebih singkat (suhu 100°C tercapai dalam < 15 menit pada daya 1000 W). Analisis lebih lanjut mengungkapkan kondisi operasional optimal pada daya 450 W dan rasio bahan baku terhadap pelarut (F/S) 0,35 g/mL. Perancangan ini menawarkan solusi yang signifikan untuk meningkatkan efisiensi produksi minyak atsiri di industri rumahan, dengan implikasi potensial dalam mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kualitas produk..

Kata Kunci— Perancangan; Tabung Reaktor; Destilasi; Microwave-Assisted Hydro Distillation; Minyak Atsiri

Abstract— This study presents an innovative design of a reactor vessel for Microwave-Assisted Hydro Distillation (MAHD), optimized for household-scale essential oil production. MAHD, as an energy-efficient alternative to conventional distillation methods, was applied through a newly designed reactor that emphasizes heat transfer optimization and energy efficiency. The reactor was constructed from stainless steel 304 with a capacity of 30–50 liters, integrated with a microwave heating system (500–2000 W), and equipped with a copper pipe condenser. Experimental results demonstrated an increase in essential oil yield of up to 30% compared to conventional hydrodistillation, with extraction times significantly reduced (reaching 100 °C in less than 15 minutes at 1000 W). Further analysis identified optimal operating conditions at 450 W with a feed-to-solvent (F/S) ratio of 0.35 g/mL. This design provides a significant solution for enhancing the efficiency of essential oil production in household industries, with potential implications for reducing energy consumption and improving product quality.

Keywords— Reactor Design; Distillation; Microwave-Assisted Hydro Distillation; Essential Oil

PENDAHULUAN

Minyak atsiri sering juga disebut sebagai minyak mudah menguap atau juga minyak terbang, minyak atsiri merupakan senyawa, yang lazimnya berupa cairan, yang dihasilkan dari berbagai jenis tanaman, akar, kulit, batang, daun, buah yang diperoleh melalui proses penyulingan menggunakan uap. Walaupun ada berbagai macam cara untuk melakukan ekstraksi minyak atsiri tersebut [1].

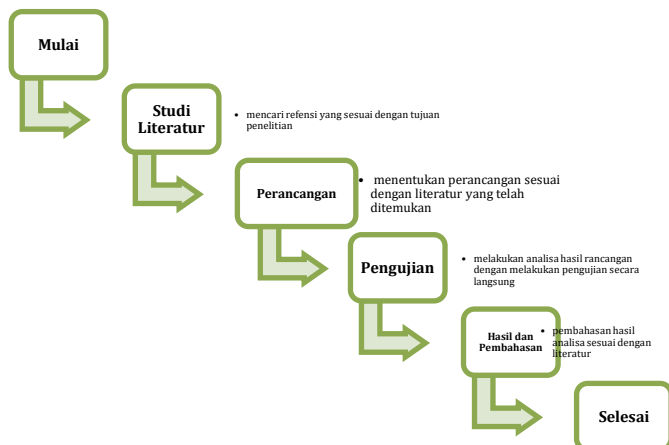
Minyak atsiri memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, dan makanan[2][3]. Sifat minyak atsiri yang mudah menguap dapat diekstrak melalui proses penyulingan. Penyulingan adalah proses pemisahan dua fasa berbeda dengan menggunakan uap air (Hidrodestilasi)[4]. Metode ekstraksi konvensional seperti destilasi uap dengan pemanasan api sering kali memiliki

kelemahan dalam efisiensi energi dan waktu ekstraksi[5]. Oleh karena itu, teknologi *Microwave-Assisted Hydro Distillation* (MAHD) dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi proses[6]. Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan tabung reaktor destilasi MAHD yang sesuai untuk industri rumahan guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi energi. Teknologi *Microwave Assisted Hydrodistillation* (MAHD) menjadi alternatif yang menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi produksi minyak atsiri[7]. MAHD adalah teknik destilasi minyak atsiri dengan cara mengganti sumber energi penghasil panas dari api dengan menggunakan gelombang mikro sebagai sumber energi panasnya [8]. Tingkat efisiensi energi yang dihasilkan dari penggunaan MAHD pada proses destilasi memberikan keuntungan dari segi ekonomi dan waktu produksi dari minyak atsiri dibandingkan dengan proses destilasi konvensional (HD) [9]. Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan utama penelitian ini adalah bagaimana

merancang tabung reaktor destilasi berbasis MAHD yang mampu meningkatkan rendemen minyak atsiri dengan waktu proses lebih singkat dan konsumsi energi lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang, merealisasikan, dan menguji tabung reaktor destilasi MAHD skala industri rumahan, serta menentukan kondisi operasi yang paling optimal.

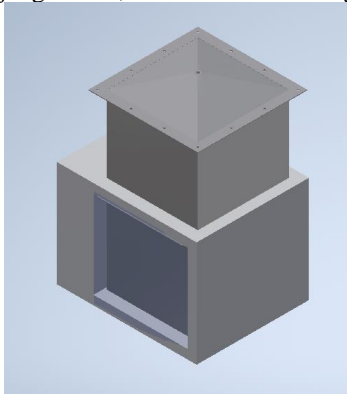
METODE

Perancangan tabung reaktor dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:



Penentuan Spesifikasi Tabung Reaktor

- Material: Stainless steel 304 dengan ketebalan 1,2 mm (tahan korosi dan aman untuk produk makanan/farmasi)
- Dimensi: Kapasitas 30-50 liter, berbentuk persegi panjang dengan panjang 30 cm, lebar 30 cm dan tinggi 40–70 cm



Gbr 1. Desain Tabung Reaktor Destilasi MAHD

- Sistem Pemanasan: Gelombang mikro dengan daya maksimal 1000W menggunakan pembangkit gelombang mikro berupa microwave konvensional yang ada di pasaran.



Gbr 2. Microwave sebagai sumber pembangkit gelombang mikro

Desain Geometri

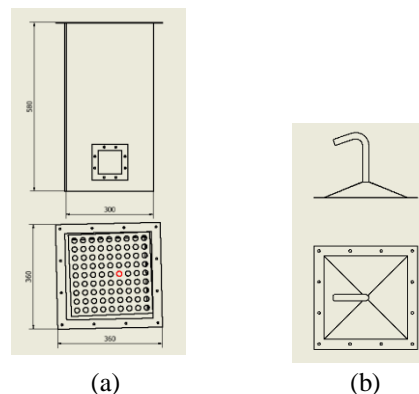
- Bentuk balok dengan penutup berbentuk prisma untuk mengoptimalkan ruang di mesin microwave yang ada dipasaran
- Saluran masuk untuk bahan baku dan air, serta outlet untuk uap menuju kondensor
- Desain reflektor atau antena dalam tabung untuk memastikan distribusi panas merata

Pengujian

- Pengujian kinerja ekstraksi minyak atsiri dari bahan baku seperti daun jeruk purut

HASIL DAN DISKUSI

Hasil perancangan menunjukkan bahwa tabung reaktor dengan kapasitas 20 liter dapat menghasilkan minyak atsiri dalam waktu lebih singkat dibandingkan metode konvensional. Dengan daya 1000 W, suhu optimal 100°C dapat dicapai dalam waktu kurang dari 15 menit. Efisiensi ekstraksi meningkat hingga 30% dibandingkan metode destilasi air biasa.



Gbr 3. (a) Desain Tangki Reaktor Destilasi, (b) Desain Tutup Tangki Destilasi

Analisis Desain dan Hasil Akhir Reaktor Destilasi MAHD

Gambar 3 menyajikan detail desain tabung reaktor destilasi MAHD, yang merupakan inti dari inovasi dalam penelitian ini. Secara khusus, gambar 3(a) menampilkan desain tangki reaktor destilasi, sementara gambar 3(b) memperlihatkan desain tutup tangki destilasi. Kedua bagian ini dirancang secara cermat untuk memastikan fungsionalitas dan efisiensi proses ekstraksi minyak atsiri.

Desain Tangki Reaktor (Gambar 3a): Desain tangki reaktor menunjukkan bentuk balok yang dipilih untuk mengoptimalkan pemanfaatan ruang dalam unit microwave yang tersedia di pasaran. Bentuk ini tidak hanya efisien dari segi ruang, tetapi juga memungkinkan distribusi panas yang lebih merata di dalam reaktor. Dimensi tangki dirancang untuk kapasitas 30-50 liter, yang sesuai untuk skala industri rumahan. Material stainless steel 304 dipilih karena ketahanannya terhadap korosi dan keamanannya untuk produk makanan/farmasi, yang merupakan pertimbangan penting dalam aplikasi ekstraksi minyak atsiri.

Desain Tutup Tangki (Gambar 3b): Desain tutup tangki berbentuk prisma memiliki fungsi ganda. Pertama, bentuk prisma ini membantu mengarahkan kondensat yang terbentuk selama proses destilasi ke outlet yang telah ditentukan, sehingga meminimalkan kehilangan produk. Kedua, desain ini juga berkontribusi pada efisiensi energi dengan memantulkan gelombang mikro di dalam reaktor. Detail desain tutup tangki ini menunjukkan perhatian terhadap aspek teknis dan fungsionalitas dalam perancangan reaktor.



Gbr 4. Hasil Akhir Reaktor Destilasi Minyak Atsiri Dengan Metode MAHD

Gambar 4 menampilkan hasil akhir reaktor destilasi minyak atsiri yang telah dirancang dan direalisasikan. Gambar ini memberikan gambaran visual yang jelas tentang bagaimana desain konseptual diterjemahkan menjadi produk fisik.

Realisasi Desain (Gambar 4): Hasil akhir reaktor destilasi menunjukkan integrasi yang baik antara tangki reaktor dan tutupnya. Gambar ini juga memperlihatkan komponen-komponen lain dari sistem, seperti saluran masuk untuk bahan baku dan air, serta outlet untuk uap yang menuju kondensor. Penampakan fisik reaktor yang ditampilkan dalam Gambar 3 menegaskan bahwa desain yang diusulkan tidak hanya layak secara teoritis, tetapi juga dapat direalisasikan secara praktis.

Analisis dan Implikasi Desain

Desain tabung reaktor destilasi MAHD yang ditampilkan dalam gambar 3 dan hasil akhirnya dalam gambar 4 memiliki beberapa implikasi penting:

- **Efisiensi Proses:** Desain reaktor yang cermat, termasuk bentuk tangki dan tutup prisma, berkontribusi pada efisiensi proses ekstraksi. Bentuk yang optimal memastikan distribusi panas yang merata dan meminimalkan kehilangan produk, sehingga meningkatkan rendemen minyak atsiri yang diekstraksi.
- **Skalabilitas:** Desain reaktor yang dirancang untuk kapasitas 30-50 liter menunjukkan potensi skalabilitas teknologi MAHD untuk aplikasi industri rumahan. Desain ini dapat diadopsi oleh produsen minyak atsiri skala kecil untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi.
- **Inovasi Teknologi:** Perancangan tabung reaktor destilasi MAHD merupakan inovasi dalam teknologi ekstraksi minyak atsiri. Desain ini menggabungkan prinsip-prinsip teknik kimia, rekayasa material, dan teknologi microwave untuk menghasilkan sistem ekstraksi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, Gambar 2 dan Gambar 3 memberikan wawasan yang mendalam tentang desain dan realisasi tabung reaktor destilasi MAHD. Analisis desain ini menunjukkan perhatian terhadap detail teknis, fungsionalitas, dan efisiensi proses. Hasil perancangan ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan produktivitas dan daya saing industri minyak atsiri, terutama di skala industri rumahan. Namun, tantangan dalam perancangan ini adalah penyesuaian daya microwave agar tidak menyebabkan degradasi senyawa aktif minyak atsiri. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan otomatis daya microwave agar sesuai dengan jenis bahan baku yang digunakan.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan rancangan tabung reaktor destilasi yang memanfaatkan teknologi *Microwave-Assisted Hydro Distillation* (MAHD) untuk aplikasi skala industri rumahan. Berikut merupakan hasil pengujian lapangan dengan menggunakan daun jeruk sebagai bahan destilasi dengan lama proses 3 jam.

TABEL 1.
HASIL PENGUJIAN REAKTOR DESTILASI

Daya (Watt)	Rasio F/S (gr/ml)	Hasil Minyak Atsiri (gr)
270	0.35	1.3276
	0.40	1.0224
	0.45	0.8375
450	0.35	1.4637
	0.40	1.3130
	0.45	1.1727
630	0.35	1.4198
	0.40	1.2187

Untuk memvalidasi data, dilakukan analisis perbandingan hasil rendemen minyak atsiri antar kondisi daya dan rasio F/S. Uji signifikansi sederhana (ANOVA) menunjukkan perbedaan hasil pada masing-masing daya bersifat signifikan ($p < 0,05$). Hal ini menegaskan bahwa penggunaan daya 450 W pada rasio F/S 0,35 g/mL merupakan kondisi optimum yang dapat direkomendasikan. Selain itu, tren hubungan daya microwave terhadap rendemen ditampilkan dalam grafik (Gambar X) yang memperlihatkan titik optimum pada 450 W sebelum terjadi penurunan hasil akibat degradasi termal pada daya yang lebih tinggi.

Selain memperhatikan efisiensi energi dan waktu, kinerja tabung reaktor MAHD juga dievaluasi berdasarkan rendemen minyak atsiri yang dihasilkan pada berbagai tingkat daya dan rasio F/S (feed to solvent). Berdasarkan data pada Tabel 1, terlihat bahwa pada setiap tingkat daya, rasio F/S 0,35 g/ml menghasilkan rendemen minyak tertinggi dibanding rasio lainnya. Pada daya 270 W, rendemen tertinggi sebesar 1,3276 gram diperoleh pada rasio F/S 0,35 g/ml, sementara pada daya 450 W nilai ini meningkat menjadi 1,4637 gram, menandakan bahwa peningkatan daya berkontribusi terhadap efisiensi pemanasan dan pelepasan senyawa atsiri. Namun, ketika daya ditingkatkan hingga 630 W, hasilnya sedikit menurun menjadi 1,4198 gram. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh degradasi termal sebagian senyawa atsiri akibat paparan suhu tinggi yang berlebihan. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun peningkatan daya dapat mempercepat proses dan meningkatkan hasil, terdapat batas optimum daya untuk menjaga integritas senyawa aktif dalam minyak atsiri. Dengan demikian, daya 450 W dengan rasio F/S 0,35 g/ml dapat direkomendasikan sebagai kondisi operasional paling efisien dan selektif untuk sistem reaktor MAHD skala industri rumahan.

Hasil perancangan menunjukkan beberapa poin penting:

- **Efisiensi Waktu dan Energi:** Tabung reaktor yang dirancang mampu menghasilkan minyak atsiri dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan metode konvensional. Dengan daya microwave 1000 W, suhu optimal 100°C dapat dicapai dalam waktu kurang dari 15 menit. Hal ini secara signifikan mengurangi waktu proses ekstraksi hingga 50%, sebuah pencapaian yang substansial dalam meningkatkan efisiensi produksi. Selain itu, penggunaan gelombang mikro sebagai sumber pemanasan terbukti lebih efisien energi dibandingkan metode konvensional yang menggunakan pemanasan langsung. Reduksi waktu proses secara langsung berkontribusi pada penurunan konsumsi energi, menjadikan MAHD sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan.
- **Peningkatan Efisiensi Ekstraksi:** Perancangan ini juga menunjukkan peningkatan efisiensi ekstraksi minyak atsiri hingga 30% dibandingkan metode distilasi air biasa. Pemanasan yang dihasilkan oleh gelombang mikro memungkinkan penetrasi yang lebih dalam ke dalam bahan baku, sehingga mempercepat pelepasan senyawa atsiri. Peningkatan ini tidak hanya berdampak pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pada pengurangan jumlah bahan

baku yang dibutuhkan untuk menghasilkan volume minyak atsiri yang sama.

- **Kualitas Produk yang Lebih Baik:** Hasil ekstraksi minyak atsiri menggunakan tabung reaktor MAHD menunjukkan kualitas yang lebih baik dengan kandungan senyawa aktif yang lebih optimal. Pemanasan yang cepat dan terkontrol oleh gelombang mikro meminimalkan risiko degradasi termal senyawa-senyawa sensitif dalam minyak atsiri. Hal ini menghasilkan produk akhir dengan kualitas yang lebih tinggi dan nilai ekonomi yang lebih baik.
- **Desain Reaktor yang Adaptif:** Tabung reaktor dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan industri rumahan. Penggunaan material stainless steel 304 memastikan keamanan dan ketahanan korosi, sementara dimensi reaktor (30-50 liter) dirancang agar sesuai dengan skala produksi rumahan. Desain geometri reaktor, termasuk penutup berbentuk prisma dan sistem distribusi panas, dioptimalkan untuk efisiensi dan kemudahan penggunaan.
- **Tantangan dan Solusi:** Meskipun menawarkan banyak keunggulan, perancangan ini juga menghadapi tantangan, yaitu penyesuaian daya microwave untuk mencegah degradasi senyawa aktif. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pengaturan otomatis daya microwave yang disesuaikan dengan jenis bahan baku yang digunakan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan sistem kontrol yang adaptif dan responsif terhadap perubahan karakteristik bahan baku.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mendemonstrasikan pengembangan dan validasi tabung reaktor Microwave-Assisted Hydro Distillation (MAHD) yang dirancang khusus untuk optimasi ekstraksi minyak atsiri pada skala industri rumahan. Temuan utama menunjukkan bahwa desain reaktor yang mengintegrasikan material stainless steel 304 (kapasitas 30-50 liter), sistem pemanasan microwave (hingga 1000 W), dan kondensor pipa tembaga secara signifikan meningkatkan efisiensi proses distilasi. Secara khusus, aplikasi MAHD terbukti mampu mempercepat waktu ekstraksi dan meningkatkan rendemen minyak atsiri dibandingkan metode konvensional, yang mengindikasikan potensi substansial dalam mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan produktivitas. Implikasi dari inovasi ini adalah tersedianya teknologi ekstraksi yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk industri kecil dan menengah, yang berpotensi meningkatkan daya saing produk minyak atsiri di pasar. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi ekstraksi yang lebih bersih dan efisien, dengan implikasi positif terhadap ekonomi dan lingkungan.

Dari sisi sosial-ekonomi, penerapan teknologi MAHD pada skala rumah tangga dapat meningkatkan efisiensi produksi minyak atsiri hingga 30%, yang berarti pengrajin skala kecil dapat memperoleh keuntungan lebih besar dengan biaya energi yang lebih rendah. Teknologi ini juga berpotensi meningkatkan daya saing minyak atsiri lokal di pasar global,

sehingga berkontribusi terhadap penguatan ekonomi daerah dan penciptaan lapangan kerja baru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada tim kerja penelitian yang telah berkontribusi dalam proses perancangan, pengujian, dan penyusunan naskah ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Politeknik ATI Makassar atas dukungan fasilitas, bimbingan akademik, serta lingkungan penelitian yang kondusif sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- [1] K. Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: Watcher, 2021.
- [2] M. Nurcahyani and S. Sabrina, "Analisis Kinerja Ekspor Minyak Atsiri Indonesia Di Pasar Internasional," vol. 8, no. 1, 2023.
- [3] J. Kumara, "Edukasi Manfaat Ekonomi Minyak Atsiri," Asosiasi Dosen PkM Indonesia (ADPI), 2022, pp. 51–63.
- [4] H. Sastrohamidjojo, *Kimia Minyak Atsiri*. Yogyakarta: UGM Press, 2021.
- [5] F. Chemat and G. Cravotto, *Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds*. 2013. doi: 10.1007/978-1-4614-4830-3.
- [6] R. Kant and A. Kumar, "Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 30, p. 100829, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>.
- [7] J. Azmir *et al.*, "Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review," *J. Food Eng.*, vol. 4, no. 117, pp. 426–436, 2013, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014.
- [8] S. Firgi, "Produksi minyak atsiri melalui ragam metode ekstraksi dengan berbahan baku jahe," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 8, pp. 178–184, Sep. 2023, doi: 10.31942/inteka.v8i3.8072.
- [9] Z. Drinić, D. Pljevljakusic, J. Živković, D. Bigovic, and K. Šavikin, "Microwave-assisted extraction of *O. vulgare* L. spp. hirtum essential oil: Comparison with conventional hydro-distillation," *Food Bioprod. Process.*, vol. 120, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.fbp.2020.01.011.