

Tinjauan Pustaka: Evaporator *Oil Essensial*

Hanad Arizal, Dan Mugisidi, & Oktarina Heriani

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

Alamat: Jalan Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur. Telp.(021)840094 Fax. (021)87782739

E-mail: hanadarizal7@gmail.com, Corresponding author: dan.mugisidi@uhamka.ac.id

Abstrak

Evaporator dengan sistem vakum dan pemanas semakin banyak dimanfaatkan dalam proses penguapan minyak esensial untuk aromaterapi karena kemampuannya meningkatkan efisiensi tanpa merusak kualitas senyawa volatil. Prinsip kerjanya adalah menurunkan tekanan parsial sehingga titik didih minyak dapat dicapai pada suhu yang lebih rendah. Dengan kondisi ini, senyawa aktif dalam minyak esensial dapat diuapkan secara optimal tanpa mengalami degradasi akibat panas berlebih. Teknologi ini sangat penting mengingat stabilitas komponen kimia dalam minyak esensial sangat sensitif terhadap suhu tinggi. Kajian ini meninjau berbagai penelitian dan literatur ilmiah yang membahas prinsip kerja, desain sistem, karakteristik perpindahan panas, serta teknik pengendalian suhu pada evaporator modern. Pendekatan deskriptif-analitis digunakan untuk mengidentifikasi tren teknologi dan keunggulan penerapan sistem vakum-pemanas pada industri aromaterapi. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa kombinasi sistem tersebut meningkatkan efisiensi termal, mempercepat laju penguapan, serta mempertahankan profil aroma dan kualitas kimia minyak. Selain itu, penggunaan sistem kontrol suhu otomatis juga meningkatkan presisi proses, mengurangi kehilangan senyawa aktif, serta mendukung efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan metode pemanasan konvensional. Teknologi ini memiliki potensi besar untuk pengembangan diffuser aromaterapi modern yang stabil, efisien, dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: evaporator vakum, pemanas, minyak esensial, aromaterapi, efisiensi

Abstract

Evaporators with vacuum and heating systems are increasingly being used in the evaporation process of essential oils for aromatherapy due to their ability to increase efficiency without damaging the quality of volatile compounds. Their working principle is to lower the partial pressure so that the oil's boiling point can be reached at a lower temperature. Under these conditions, the active compounds in essential oils can be optimally evaporated without degradation due to excessive heat. This technology is crucial given the sensitivity of essential oils to high temperatures, as the chemical components in essential oils are highly stable. This study reviews various studies and scientific literature discussing the operating principles, system design, heat transfer characteristics, and temperature control techniques of modern evaporators. A descriptive-analytical approach was used to identify technological trends and the advantages of applying vacuum and heating systems to the aromatherapy industry. The review results indicate that this system combination increases thermal efficiency, accelerates evaporation rates, and maintains the aroma profile and chemical quality of the oil. Furthermore, the use of an automatic temperature control system improves process precision, reduces the loss of active compounds, and supports better energy efficiency compared to conventional heating methods. This technology holds great potential for the development of modern, stable, efficient, and environmentally friendly aromatherapy diffusers.

Keywords: vacuum evaporator, heater, essential oils, aromatherapy, energy efficiency.

1 PENDAHULUAN

Minyak esensial merupakan salah satu produk bernilai ekonomi tinggi yang banyak digunakan dalam industri aromaterapi, kosmetika, dan farmasi alami. Kandungan senyawa volatil seperti terpen, aldehida, dan ester menjadikan minyak esensial memiliki aroma khas serta manfaat terapeutik [1]. Namun, proses pengolahan minyak esensial masih menghadapi tantangan

besar, terutama pada tahap penguapan atau evaporasi yang menentukan kualitas akhir minyak.

Metode konvensional yang banyak digunakan, seperti distilasi uap dan pemanasan langsung, memiliki kelemahan signifikan. Proses distilasi konvensional memerlukan suhu tinggi, umumnya di atas 100 °C, yang berpotensi merusak senyawa volatil sensitif terhadap panas [2]. Pemanasan pada tekanan atmosfer juga meningkatkan risiko oksidasi serta menurunkan nilai aroma alami

minyak esensial. Akibatnya, produk yang dihasilkan sering mengalami perubahan warna, menurunnya kestabilan kimia, dan kehilangan komponen aromatik penting.

Kendala lain yang dihadapi dalam proses konvensional adalah tingginya konsumsi energi dan rendahnya efisiensi termal. Sistem distilasi uap biasanya membutuhkan waktu penguapan yang lama serta energi panas yang besar untuk mempertahankan suhu tinggi secara konstan [3]. Hal ini tidak hanya berdampak pada biaya produksi, tetapi juga pada penurunan efisiensi energi secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan teknologi yang mampu menurunkan suhu penguapan tanpa mengurangi laju evaporasi dan tetap menjaga kualitas minyak.

Salah satu inovasi teknologi yang terbukti efektif dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah evaporator dengan sistem vakum dan pemanas [4]. Dengan kondisi tekanan rendah, proses penguapan dapat berlangsung pada suhu yang jauh lebih rendah dibandingkan kondisi atmosferik. Hasilnya, senyawa volatil pada minyak esensial dapat menguap tanpa mengalami degradasi termal yang signifikan [5].

Dalam konteks rekayasa termal, evaporator vakum-pemanas memungkinkan efisiensi perpindahan panas yang lebih baik karena gradien suhu antara permukaan pemanas dan fluida lebih optimal [6]. Teknologi ini juga mempercepat laju penguapan dan memperpendek waktu proses, sehingga energi yang dibutuhkan menjadi lebih rendah. Beberapa penelitian melaporkan peningkatan efisiensi energi hingga 30% dibandingkan metode konvensional [7].

Tinjauan ini akan menyoroti prinsip kerja, desain termal, dan performa evaporator vakum dengan pemanas dalam proses pengolahan minyak esensial. Fokus utama meliputi hubungan antara tekanan operasi, suhu penguapan, serta efisiensi energi terhadap kualitas minyak yang dihasilkan. Selain itu, kajian ini juga membahas perbandingan antara metode konvensional dan sistem vakum dalam konteks kestabilan kimia dan performa termal sistem.

Walaupun penerapan sistem vakum-pemanas telah banyak digunakan pada industri pangan dan kimia, kajian ilmiah yang secara khusus membahas penerapannya untuk minyak esensial masih terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada optimasi bahan baku dan metode distilasi tradisional. Pemahaman mengenai hubungan antara parameter termodinamika sistem vakum dan kualitas hasil minyak esensial sangat

penting untuk pengembangan proses pengolahan yang efisien.

2 PRINSIP KERJA EVAPORATOR VAKUM DAN PANAS

Evaporator vakum-pemanas bekerja berdasarkan prinsip termodinamika bahwa titik didih suatu cairan dipengaruhi oleh tekanan lingkungan di sekitarnya [8]. Pada kondisi tekanan rendah, titik didih cairan akan menurun karena berkurangnya tekanan parsial uap yang diperlukan agar cairan mencapai fase uap [9]. Demikian, penurunan tekanan dalam ruang penguapan akan mempercepat proses penguapan pada suhu yang lebih rendah. Dalam aplikasi minyak esensial, kondisi ini sangat menguntungkan karena sebagian besar senyawa aktif bersifat volatil dan sensitif terhadap panas. Pada tekanan atmosfer, pemanasan hingga di atas 100°C sering menyebabkan terjadinya degradasi termal, oksidasi, atau hilangnya fraksi aroma penting [10]. Dengan penggunaan sistem vakum, minyak esensial dapat diuapkan tanpa merusak struktur kimia senyawa bioaktif yang berperan dalam aroma serta sifat farmakologisnya.

Evaporator vakum-panas bekerja berdasarkan prinsip penurunan tekanan untuk menurunkan titik didih suatu cairan sehingga proses penguapan dapat terjadi pada suhu yang lebih rendah. Ketika tekanan sistem diturunkan menggunakan vakum, suhu jenuh minyak esensial ikut turun sehingga energi panas yang dibutuhkan untuk menguapkannya menjadi lebih kecil. Dengan demikian, senyawa volatil pada minyak esensial dapat terjaga kualitasnya karena tidak mengalami pemanasan berlebih selama proses evaporasi [11].

Sumber panas utama dalam evaporator berasal dari uap pemanas (*steam*) yang mengalir pada sisi luar pipa (*shell side*), sementara minyak esensial atau larutan berada pada sisi dalam pipa (*tube side*) [12]. Ketika uap bersentuhan dengan dinding tube yang lebih dingin, uap mengalami kondensasi film. Pelepasan panas laten kondensasi ini berpindah melalui dinding tube menuju cairan minyak. Panas yang diterima menyebabkan minyak mencapai suhu jenuh pada kondisi vakum dan terjadi nucleate boiling, disertai pelepasan gelembung uap dari permukaan pemanas.

Efisiensi perpindahan panas secara langsung dipengaruhi oleh tekanan operasi uap bekas dan kestabilan pasokan uap pemanas. Semakin stabil tekanan uap, maka *driving force* perpindahan panas semakin baik, sehingga koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) dapat terjaga relatif tinggi

Sebaliknya, fluktuasi tekanan akan mengurangi laju kondensasi uap pemanas dan berdampak pada penurunan laju perpindahan panas [13].

Dengan demikian, prinsip utama kerja evaporator vakum-panas adalah menjaga keseimbangan antara:

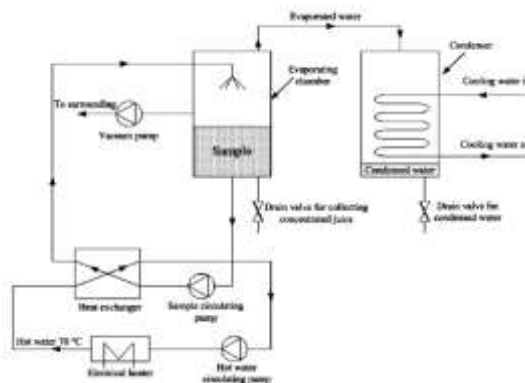
1. Tekanan vakum yang cukup untuk menurunkan titik didih,
2. Pasokan uap pemanas yang stabil sebagai sumber energi
3. Sirkulasi fluida yang baik untuk mempertahankan efisiensi perpindahan panas.

Kombinasi ketiga faktor tersebut memastikan bahwa proses pemekatan minyak esensial dapat berjalan

3 DESAIN SISTEM EVAPORATOR VAKUM DAN PANAS

Perancangan sistem evaporator vakum dan panas berfokus pada upaya meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan menjaga kualitas minyak esensial agar tidak terdegradasi akibat paparan suhu tinggi [14]. Oleh karena itu, pemilihan konfigurasi komponen sangat menentukan performa keseluruhan sistem. Sistem ini umumnya dirancang menggunakan tipe *shell and tube evaporator*, di mana uap pemanas dialirkan pada sisi shell, sementara minyak esensial berada pada sisi tube [15]. Pemilihan konfigurasi ini bertujuan memperbesar luas perpindahan panas serta menjamin proses kondensasi uap pemanas dapat berlangsung secara stabil.

Desain sistem evaporator vakum dan panas bertujuan meningkatkan efisiensi pemisahan minyak esensial dengan mempertahankan kualitas senyawa aromatik yang sensitif terhadap panas [16]. Proses dilakukan pada tekanan yang diturunkan sehingga titik didih minyak esensial menurun dan pemanasan dapat dilakukan pada suhu $\leq 50^\circ\text{C}$, sehingga degradasi termal dan oksidasi dapat diminimalkan [14].



Gambar 1 Improving a vacuum-evaporator [17]

Secara keseluruhan, desain evaporator vakum dan panas harus memenuhi tiga aspek utama:

1. Optimalisasi perpindahan panas melalui pemilihan konfigurasi shell and tube yang sesuai.
2. Stabilitas proses termodinamika, terutama tekanan uap pemanas dan tekanan ruang vakum
3. Pengendalian hidrodinamika fluida, mengingat viskositas meningkat selama pemekatan berlangsung

Penerapan vakum dalam desain bertujuan untuk menurunkan titik didih fluida [17]. Semakin rendah tekanan, semakin kecil energi panas yang diperlukan untuk menghasilkan penguapan. Keuntungan utama dari konsep ini adalah pengurangan risiko degradasi senyawa volatil, yang merupakan karakteristik penting minyak esensial [18]. Tekanan di dalam evaporator dikendalikan melalui *vacuum pump*, yang menjaga kondisi operasi tetap stabil pada rentang tekanan yang telah ditentukan. Stabilitas tekanan uap bekas sangat berpengaruh terhadap kinerja perpindahan panas, karena fluktuasi tekanan menyebabkan ketidakstabilan dalam proses kondensasi serta menurunkan efisiensi energi sistem.

sistem evaporasi ideal untuk minyak esensial beroperasi pada tekanan 20–60 kPa dan suhu 40–60°C, yang terbukti dapat mempertahankan kestabilan terpen dan ester yang menjadi komponen utama minyak aromaterapi [19].

4 TEKNIK PENGENDALIAN SUHU PADA EVAPORATOR MODERN

Pengendalian suhu merupakan faktor kunci dalam kinerja sistem evaporator vakum–pemanas, karena suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi senyawa volatil, sementara suhu yang terlalu rendah akan menurunkan laju penguapan. Oleh karena itu, penerapan sistem kontrol suhu

otomatis menjadi strategi penting dalam mencapai efisiensi termal yang tinggi dan kualitas minyak yang optimal [20], [9].

Dalam sistem evaporator modern, pengendalian suhu umumnya dilakukan menggunakan sensor termokopel digital yang terhubung dengan pengendali *proporsional-integral-derivatif* (PID controller). Sistem ini secara *real-time* menyesuaikan daya pemanas berdasarkan perubahan suhu aktual terhadap suhu target, sehingga proses pemanasan berlangsung stabil tanpa fluktuasi ekstrem. Dengan kestabilan suhu yang terjaga, energi panas yang disuplai dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk proses penguapan, dan kehilangan panas melalui dinding serta uap residu dapat diminimalkan [20], [21].

Studi oleh Pratama et al. (2024) pada proses menunjukkan bahwa penggunaan sistem kontrol otomatis meningkatkan efisiensi termal hingga 78,4 %, karena laju pemanasan menjadi lebih seragam dan waktu pencapaian titik didih berkurang sekitar 20 % dibandingkan metode manual [20]. Hasil ini sejalan dengan penelitian Zhao et al. (2024) yang mengembangkan model optimasi unit distilasi vakum berbasis pengendalian adaptif. Melalui pendekatan tersebut, konsumsi energi sistem berkurang 18 %, sedangkan stabilitas suhu meningkat dua kali lipat dibandingkan sistem tanpa kontrol otomatis [22].

Stabilitas suhu memiliki implikasi langsung terhadap profil aroma dan kualitas kimia produk. Fluktuasi suhu dapat menyebabkan oksidasi parsial pada senyawa aromatik seperti patchouli alcohol, linalool, dan citronellal. Penelitian oleh Munanda et al. (2022) menunjukkan bahwa redistilasi minyak nilam menggunakan kontrol suhu otomatis pada kisaran 60–70 °C menghasilkan minyak dengan warna lebih jernih dan aroma lebih kuat dibandingkan distilasi manual [9]. Sementara itu, Muhammad et al. (2022) melaporkan bahwa sistem evaporator vakum dengan pengaturan suhu presisi mampu mempertahankan kadar patchouli alcohol hingga 37% menandakan rendahnya kehilangan senyawa aktif selama proses [23].

Pengendalian suhu pada evaporator modern sangat penting untuk menjaga kualitas minyak esensial yang sensitif terhadap panas. Sistem kontrol suhu otomatis berbasis sensor termokopel digital dan pengendali *proporsional-integral-derivatif* (PID) mampu menyesuaikan daya pemanas secara *real-time* sesuai perbedaan antara suhu aktual dan target, sehingga menjaga kestabilan proses tanpa fluktuasi ekstrem. Studi oleh Pratama et al. menunjukkan bahwa penerapan kontrol suhu otomatis meningkatkan efisiensi

termal hingga 78,4%, mempercepat waktu pencapaian titik didih sekitar 20%, dan mengurangi kehilangan senyawa aktif yang berkontribusi pada aroma dan kualitas kimia minyak esensial [20]. Teknologi ini juga mencegah degradasi termal dan oksidasi pada senyawa volatil seperti patchouli alcohol dan linalool, sekaligus mendukung efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Dengan pengendalian suhu yang presisi, evaporator vakum-pemanas mencapai kinerja optimal secara berkelanjutan dan konsisten dengan prinsip efisiensi energi industri modern.

Teknik pengendalian suhu otomatis pada evaporator modern tidak hanya meningkatkan efisiensi termal dan kecepatan penguapan, tetapi juga mempertahankan kestabilan kimia serta aroma alami minyak esensial [20], [24]. Selain itu, sistem ini memberikan keuntungan tambahan berupa penghematan energi, pengurangan kerusakan produk, dan peningkatan presisi operasi. Dengan penerapan kontrol suhu berbasis sensor dan algoritma adaptif, sistem evaporator vakum-pemanas dapat mencapai kinerja optimal yang berkelanjutan dan konsisten dengan prinsip efisiensi energi industri modern [22].

5 KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS

Perpindahan panas merupakan mekanisme utama yang menentukan efisiensi kinerja sistem evaporator vakum-pemanas. Pada proses ini, panas berpindah dari permukaan pemanas menuju fluida cair melalui kombinasi konduksi dan konveksi. Intensitas perpindahan panas yang optimal akan meningkatkan efisiensi termal, mempercepat laju penguapan, serta mempertahankan profil aroma dan kualitas kimia minyak esensial [20].

Penelitian Pratama et al. (2024) menunjukkan bahwa peningkatan nilai koefisien perpindahan panas melalui pengaturan suhu dan tekanan pada evaporator vakum menghasilkan efisiensi termal mencapai 78,4 %, serta mempercepat waktu penguapan nira tebu hingga 20% dibandingkan metode konvensional [20]. Fenomena serupa diamati oleh Muhammad et al. (2022), di mana penerapan sistem vakum dalam proses penguapan minyak nilam menghasilkan distribusi panas yang lebih merata dan mencegah titik panas (*hot spot*) yang dapat merusak senyawa volatil [23].

Kondisi perpindahan panas yang stabil juga berdampak langsung pada kualitas kimia dan aroma minyak esensial. Distribusi panas yang seragam menjaga suhu penguapan berada pada kisaran optimum (60–70°C), sehingga mencegah

degradasi termal terhadap senyawa aktif seperti patchouli alcohol, linalool, dan citronellal [9]. Dengan demikian, efisiensi termal dan kualitas minyak memiliki keterkaitan langsung melalui mekanisme perpindahan panas: semakin efektif panas ditransfer ke fluida, semakin cepat proses penguapan terjadi, dan semakin kecil kemungkinan terjadinya reaksi oksidasi yang menurunkan mutu produk.

Penerapan desain permukaan penukar panas yang lebih luas serta pengendalian tekanan adaptif pada sistem distilasi vakum dapat meningkatkan nilai U hingga 25–30%, sekaligus menurunkan konsumsi energi spesifik sebesar 18% [4]. Hasil tersebut memperkuat bahwa perancangan karakteristik perpindahan panas yang optimal bukan hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga menjadi kunci dalam mempertahankan stabilitas termal minyak esensial selama proses distilasi.

Secara keseluruhan, karakteristik perpindahan panas yang baik pada evaporator vakum–pemanas tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan efisiensi termal dan mempercepat penguapan, tetapi juga berperan penting dalam mempertahankan aroma alami serta integritas kimia minyak. Kombinasi antara pengaturan tekanan, suhu, dan luas permukaan perpindahan panas yang tepat menjadikan sistem ini jauh lebih unggul dibandingkan metode pemanasan konvensional dalam aspek energi dan kualitas produk akhir [22].

Perpindahan panas dalam evaporator vakum–pemanas terjadi melalui dua mekanisme utama, yaitu konduksi pada dinding pemanas dan konveksi pada fluida minyak. Kondisi vakum meningkatkan *driving force* perpindahan panas karena perbedaan temperatur antar fase lebih jelas, sehingga laju penguapan meningkat. Efisiensi perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh tekanan operasi, nilai koefisien perpindahan panas (U), serta viskositas fluida yang menentukan resistansi termal di permukaan pemanas [25]. Tekanan operasi juga menentukan karakteristik perpindahan panas. Pada evaporator minyak esensial menggunakan vakum, penurunan tekanan menyebabkan titik didih fluida turun sehingga proses menguap dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah. Hal ini tidak hanya menjaga kualitas komponen volatil dalam minyak esensial, tetapi juga mempercepat pembentukan gelembung karena energi panas yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi jenuh menjadi lebih kecil [15]. Namun demikian, vakum yang terlalu tinggi dapat mengurangi kecepatan sirkulasi cairan akibat

menurunnya *driving force* sirkulasi, sehingga justru menambah hambatan perpindahan panas dan menurunkan nilai hi .

6 LAJU PERPINDAHAN PANAS

Laju perpindahan panas (Q) pada evaporator vakum–panas menunjukkan seberapa besar energi panas yang ditransfer dari uap pemanas ke minyak esensial selama proses penguapan berlangsung. Pada sistem shell and tube, panas yang diterima fluida terutama berasal dari panas laten kondensasi uap pemanas ketika berubah fasa pada permukaan tube [26]. Besarnya Q dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, seperti perbedaan temperatur antara uap dan cairan, luas perpindahan panas, tekanan operasi, serta sifat fisik minyak esensial yang mengalami perubahan seiring meningkatnya konsentrasi selama evaporasi.

Ketika tekanan vakum diterapkan, titik didih minyak esensial menurun sehingga dibutuhkan energi panas yang lebih kecil untuk melakukan perubahan fasa cair ke uap. Kondisi ini menyebabkan *driving force* perpindahan panas meningkat, yang berdampak pada meningkatnya nilai Q . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kestabilan tekanan uap bekas sangat berpengaruh terhadap besarnya laju perpindahan panas: ketika tekanan uap pemanas berada dalam kondisi stabil, laju kondensasi meningkat dan memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan Q [20]. Sebaliknya, fluktuasi tekanan menyebabkan penurunan signifikan pada laju perpindahan panas karena proses kondensasi tidak berlangsung optimal.

Namun demikian, nilai Q tidak selalu konstan sepanjang proses evaporasi. Ketika pelarut semakin banyak menguap, konsentrasi minyak esensial meningkat dan menyebabkan viskositas fluida naik, sehingga aliran di dalam tube menjadi kurang turbulen. Ketika aliran memasuki kondisi yang semakin mendekati laminar, hambatan perpindahan panas pada sisi fluida meningkat. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan laju perpindahan panas secara bertahap, terutama pada fase akhir evaporasi [27]. Hal ini sejalan dengan karakteristik penurunan nilai koefisien perpindahan panas (U) pada evaporator industri gula yang dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi dan viskositas larutan selama proses pemekatan berlangsung.

7 EFISIENSI TERMAL DAN KUALITAS MINYAK

Efisiensi termal pada sistem evaporator vakum-pemanas merupakan parameter kunci yang menentukan seberapa besar energi panas yang dimanfaatkan secara efektif untuk proses penguapan minyak esensial. Efisiensi termal tidak hanya merepresentasikan kemampuan alat dalam mengubah energi panas menjadi uap, tetapi juga berkaitan langsung dengan kualitas produk akhir yang dihasilkan.



Gambar 2 Minyak Nilam [28]

Penelitian oleh Le et al. (2025) menunjukkan bahwa pada tekanan 60 mmHg, proses distilasi minyak *Eucalyptus camaldulensis* menghasilkan efisiensi termal lebih dari 60%, dengan kemurnian komponen utama 1,8-cineole meningkat dari 47,9 % menjadi 74,6 % [29]. Hasil tersebut memperkuat bahwa penerapan sistem vakum mampu menjaga stabilitas termal, menghindarkan degradasi senyawa aktif, serta menurunkan konsumsi energi total proses [29].

Penggunaan evaporator vakum-pemanas menjadi solusi efektif karena memungkinkan proses penguapan berlangsung pada tekanan rendah dan suhu moderat (40–70°C). Pada kondisi ini, titik didih minyak dapat dicapai tanpa merusak senyawa aromatik, sekaligus menghemat energi panas yang digunakan. Tekanan yang lebih tinggi meningkatkan energi total sistem namun juga menurunkan efisiensi perpindahan panas. Dalam konteks minyak esensial, hal ini berarti tekanan yang terlalu tinggi dapat mempercepat penguapan tetapi meningkatkan risiko degradasi senyawa volatil [26]. Oleh karena itu, pengaturan tekanan vakum yang stabil menjadi kunci dalam menjaga keseimbangan antara laju penguapan dan efisiensi energi.

Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Muhammad et al. (2022) yang menemukan bahwa penerapan distilasi vakum menghasilkan minyak nilam dengan kadar patchouli alcohol yang lebih tinggi (sekitar 35–37%) serta kandungan pengotor lebih rendah dibandingkan distilasi atmosferik [23]. Kualitas minyak meningkat seiring dengan efisiensi termal proses karena suhu penguapan

yang lebih rendah mencegah oksidasi senyawa aromatik seperti α -pinene dan D-limonene.

1. Tekanan operasi vakum semakin rendah tekanan, semakin rendah titik didih dan semakin kecil risiko degradasi termal.
2. Viskositas dan sifat fisik minyak menentukan laju perpindahan panas dan kebutuhan energi.
3. Koefisien perpindahan panas (U) menjadi indikator efisiensi sistem, yang menurun bila terjadi fouling atau ketidakseimbangan aliran fluida.

Implementasi sistem vakum-pemanas dengan kontrol suhu otomatis mampu menjaga efisiensi termal tinggi karena sistem dapat menyesuaikan tekanan dan suhu sesuai karakteristik minyak [16]. Teknologi ini memungkinkan proses penguapan yang lebih cepat, hemat energi, dan menjaga kestabilan profil aroma minyak esensial.

Penerapan sistem vakum-pemanas menunjukkan korelasi positif antara peningkatan efisiensi energi dan perbaikan kualitas produk. Kondisi operasi dengan tekanan rendah memungkinkan penguapan berlangsung pada suhu yang lebih moderat, sehingga energi yang dibutuhkan lebih kecil dan senyawa aktif dalam minyak esensial tetap stabil [22]. Oleh karena itu, strategi optimasi parameter operasi seperti tekanan, suhu, dan waktu distilasi menjadi faktor kunci untuk mencapai sistem evaporator yang efisien, hemat energi, dan menghasilkan minyak berkualitas tinggi.

8 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian pustaka dan analisis terhadap prinsip kerja sistem evaporator vakum-pemanas, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi ini memberikan peningkatan signifikan terhadap efisiensi termal dan mutu produk minyak esensial. Penggunaan tekanan rendah terbukti menurunkan titik didih minyak sehingga proses penguapan dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah, yaitu berkisar antara 40–70°C, tanpa menyebabkan degradasi senyawa volatil seperti monoterpena, aldehida, dan ester.

Desain sistem *shell and tube* dengan kontrol tekanan dan suhu otomatis menunjukkan stabilitas termal yang baik serta peningkatan koefisien perpindahan panas keseluruhan (U). Kondisi ini berpengaruh langsung terhadap laju perpindahan panas (Q) yang meningkat seiring kestabilan tekanan uap pemanas, sehingga proses penguapan berlangsung lebih cepat dengan konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan metode distilasi konvensional. Hasil penelitian sebelumnya juga

menunjukkan bahwa sistem ini mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 30%.

Selain efisiensi energi, penerapan sistem vakum pemanas mampu mempertahankan kestabilan warna, aroma, dan komposisi kimia minyak esensial, menjadikannya teknologi unggulan dalam proses pengolahan aromaterapi yang ramah lingkungan, presisi tinggi, dan berdaya saing industri. Dengan dukungan hasil penelitian terbaru sistem evaporator vakum-pemanas memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai alternatif utama pengganti metode distilasi konvensional dalam produksi minyak esensial berkualitas tinggi dengan efisiensi termal optimal.

KEPUSTAKAAN

- [1] W. Zhou *et al.*, “Research Progress on Extraction , Separation , and Purification Methods of Plant Essential Oils,” pp. 1–17, 2023.
- [2] J. Alberto *et al.*, “Separation of D-Limonene and Other Oxygenated Compounds from Orange Essential Oil by Molecular Distillation and Fractional Distillation with a Wiped Film Evaporator,” 2023.
- [3] A. S. Putri, W. Zamrud, J. T. Kimia, P. N. Malang, J. Soekarno, and H. No, “STUDI LITERATUR ISOLASI MINYAK NILAM (POGOSTEMON CABLIN BENTH) DARI BEBERAPA METODE DISTILASI,” vol. 7, no. 9, pp. 552–560, 2021.
- [4] K. P. Vemuri and P. R. Bandaru, “An approach towards a perfect thermal diffuser,” *Sci. Rep.*, vol. 6, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1038/srep29649.
- [5] R. Parra-sald, J. Rodriguez-rodriguez, and S. Castillo, “Chemical Composition and Biological Activities of Vacuum Distillation,” 2019.
- [6] F. Nurfajrina, L. Rubianto, P. J. Ramadhan, J. T. Kimia, and P. N. Malang, “PERHITUNGAN MASS BALANCE , HEAT BALANCE DAN LUAS PERPINDAHAN PANAS TERHADAP BRIX PADA STASIUN,” vol. 11, no. 9, pp. 318–326, 2025.
- [7] C. A. Machado, F. O. Oliveira, and M. Ant, “Steam Distillation for Essential Oil Extraction : An Evaluation of Technological Advances Based on an Analysis of Patent Documents,” 2022.
- [8] W. Lu *et al.*, “Clean integrated extraction of Piper nigrum L . essential oil and comparative analysis of volatile profiles with traditional methods,” *LWT*, vol. 229, no. July, p. 118174, 2025, doi: 10.1016/j.lwt.2025.118174.
- [9] Z. Munanda, Z. Mahyiddin, S. Muhammad, I. Machdar, and Z. Ulya, “Patchouli and Essential Oil Products The Impact of Redistillation Temperature using Rotary Vacuum Evaporator on the Quality of Aceh Patchouli Oil,” vol. 1, no. 2, pp. 52–55, 2022.
- [10] S. Hodel, C. Alberto, T. Machado, and K. Vale, “Distillation of essential oils : An innovative technological approach focused on productivity , quality and sustainability,” pp. 1–20, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0299502.
- [11] J. E. Pertanian, R. Paramawati, R. Y. Gultom, B. Besar, and P. Mekanisasi, “REKAYASA PROTOTIPE MESIN EVAPORATOR VAKUM (Design and Manufacturing of Vacuum Evaporator Prototype),” vol. VIII, no. 2, pp. 83–91, 2009.
- [12] S. Efremov, “IMPROVEMENT OF THE VACUUM EVAPORATOR FOR THE PRODUCTION OF PASTE-LIKE SEMI-FINISHED PRODUCTS WITH A HIGH DEGREE OF READINESS,” vol. 11, pp. 76–83, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.288896.
- [13] K. Anam, A. Syukri, D. Perdana, and S. Hadi, “Analisis Pindah Panas Konduksi dan Konveksi pada Heat Exchanger Evaporator Efek Ganda pada Pengolahan Nira Tebu,” vol. 11, no. 2, pp. 159–171, 2023, doi: 10.29303/jrpb.v11i2.221.
- [14] N. W. T, “PERANCANGAN VACUM EVAPORATOR METODE LIQUID RING VACUM PUMP VACUM EVAPORATOR DESIGN LIQUID RING VACUM PUMP,” pp. 24–27.
- [15] W. Zhou *et al.*, “pemisahan Kemajuan Penelitian tentang Metode Ekstraksi , Pemisahan , dan Pemurnian Minyak Esensial Tumbuhan,” 2023.
- [16] S. S. Ghaffari and S. A. Jazayeri, “The Design of a Shell-Tube Heat Exchanger as Evaporator an Absorption Chiller Cycle to Reduce the Temperature of the Air Entering a Diesel Engine Operating at Full Load Engine Medium,” vol. 9, no. 13, pp. 122–132, 2015, doi: 10.5539/mas.v9n13p122.
- [17] J. T. Mesin, F. Teknik, U. Riau, P. S. Agroteknologi, F. Pertanian, and U. Riau,

- “Perancangan Vacuum Evaporator Penurun Kadar Air Dalam Madu Kapasitas 50 Liter Nazaruddin 1* , Hapsoh 2 , Afrian 1,” no. Snttm Xiv, pp. 7–8, 2015.
- [18] C. H. I. B. I. C. H. T. Hao, T. H. I. T. U. U. T. Ran, T. H. I. K. Im, N. G. A. N. T. Ran, and H. U. C. A. N. G. M. Ai, “Extraction and Volatile Compounds in Ginger Essential Oil,” vol. 35, no. 12, pp. 3066–3070, 2023.
- [19] A. Taboada-rodr, A. Garre, F. Mar, and L. Antonio, “The Application of Essential Oil Vapors at the End of Vacuum Cooling of Fresh Culinary Herbs Promotes Aromatic Recovery,” 2021.
- [20] A. U. Hafidza, M. Meiliana, and M. F. Nugroho, “Analisis Efisiensi Termal Evaporator Vakum pada Proses Pemekatan Nira Tebu,” vol. 7, pp. 31665–31670, 2023.
- [21] A. Ketawang, T. Laksmi, T. Andromeda, and A. Triwiyatno, “PROTOTIPE MESIN PENERING FLUIDISASI GABAH”.
- [22] S. Xie, H. Lik, Y. Ng, D. K. S. Ng, and V. Andiappan, “Optimisation of Vacuum Distillation Units in Oil Refineries Using Surrogate Models,” *Process Integr. Optim. Sustain.*, vol. 8, no. 2, pp. 351–373, 2024, doi: 10.1007/s41660-024-00395-6.
- [23] C. Patchouli, V. Evaporator, S. Muhammad, H. Hisbullah, J. Rahmi, and F. N. Ritonga, “Patchouli and Essential Oil Products Vacuum Distillation of Aceh Patchouli Oil into Hi-Grade and,” vol. 1, no. 2, pp. 36–41, 2022.
- [24] S. Pls, D. Hmi, V. U. Audiana, and M. R. I, “Rancang Bnagun Kontrol Suhu Pada Tungku Pemanas Mesin Destilasi Minyak Atsiri Daun Nilam Menggunakan PLS S7 – 1200 Dan HMI,” vol. 07, 2020.
- [25] A. Gkountas, P. Bakalis, E. Ntavou, A. Skiadopoulos, and D. Manolakos, “applied sciences Modelling and Parametric Analysis of a Brine Treatment Unit Using a High-Temperature Heat Pump and a Vacuum Evaporator,” 2022.
- [26] E. Pada *et al.*, “KARAKTERISTIK PERPINDAHAN PANAS SISTEM EVAPORATOR,” vol. 8, no. 9, pp. 185–195, 2022.
- [27] E. Anansa, “Pengaruh o Brix Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas pada Evaporator Robert Sistem Quintuple Effect di PG . Gempolkrep,” vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2016.
- [28] S. Minenko *et al.*, “Improvement of the Vacuum Evaporator for the Production of Paste-Like Semi-Finished Products With a High Degree of Readiness,” *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 5, no. 11(125), pp. 76–83, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.288896.
- [29] T. X. Le, M. N. Nguyen, T. M. Le, M. Chau, and V. Pham, “Enriching 1 , 8-Cineole Content in Eucalyptus camaldulensis D . Raw Essential Oil: An Investigation on Optimizing Vacuum Fractional Distillation Process,” vol. 25, no. 2, pp. 432–443, 2025, doi: 10.22146/ijc.99211.