

SIMULASI UJI PERFORMA DESAIN KUKUSAN PADA MESIN DISTILASI KAPULAGA DENGAN SOFTWARE ANSYS

*Marsent Beriman Siagian¹, Norman Iskandar², Sulardjaka²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: marsentsiagian74@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada analisis komparasi performa desain kukusan pada proses penguapan untuk proses distilasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dua jenis piring kukusan yang berbeda melalui simulasi numerik. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS dengan metode ANSYS Fluent, yang memungkinkan analisis mendetail terhadap aliran perambatan panas pada masing-masing desain kukusan sehingga simulasi bisa terjadi dengan tepat dan menghasilkan hasil yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan dalam performa kedua kukusan, dengan desain kukusan bersilinder menunjukkan persebaran aliran dan temperatur yang lebih tinggi dalam perambatan panas daripada desain kukusan dengan piringan. Dengan demikian, bentuk desain model kukusan yang memiliki silinder sangat direkomendasikan untuk aplikasi industri dalam proses produksi distilasi.

Kata kunci: distilasi; kapulaga; perambatan panas; piring kukusan; simulasi ansys

Abstract

This research focuses on a comparative analysis of the performance of steamer designs in the evaporation process for distillation. The study aims to evaluate the performance of two different types of steamer plates through numerical simulation. The simulation is conducted using ANSYS software, specifically employing the ANSYS Fluent method, which allows for a detailed analysis of heat propagation flow in each steamer design, ensuring accurate and precise simulation results. The findings reveal differences in the performance of the two steamers, with the cylindrical steamer design exhibiting higher flow and temperature distribution in heat propagation compared to the plate steamer design. Consequently, the cylindrical steamer model is highly recommended for industrial applications in the distillation production process.

Keyword: ansys; cardamom; distillation; heat transfer; steam plates

1. Pendahuluan

Minyak atsiri (*essential oil*) adalah cairan aromatik yang diperoleh dari bagian tanaman yang umumnya melalui proses distilasi uap dan kemudian dinamai sesuai jenis tanaman asalnya. Minyak atsiri bersifat mudah menguap [1] dan minyak atsiri dapat dikatakan sebagai suatu produk atau campuran zat harum tanpa bau. Minyak atsiri dapat diperoleh hampir dari setiap bagian tanaman yaitu daun, bunga, buah, biji, batang, kulit dan akar.

Minyak atsiri dapat diproduksi dengan menggunakan metode distilasi atau penyulingan. Distilasi atau penyulingan merupakan suatu teknik atau proses yang memisahkan dua atau lebih komponen zat cair yang memiliki perbedaan titik didih yang jauh, dan perbedaan kevolatilan. Kevolatilan adalah kecenderungan sebuah zat untuk menjadi gas. [2]

Beberapa jenis minyak atsiri yang sering digunakan adalah minyak atsiri pohon teh (*tea tree oil*), minyak atsiri sitrus, dan minyak atsiri kayu putih. *Tea tree oil* diperoleh dari bagian daun tanaman pohon teh (*Melaleuca alternifolia*). Minyak atsiri dari daun pohon teh sering digunakan untuk kosmetik, farmasi, dan makanan. Kelebihan dari minyak atsiri daun pohon teh adalah perannya menjadi bahan alternatif alami untuk produk farmasi dan kosmetik yang diproses secara kimia, dan mengandung lebih dari 100 senyawa fitokimia. Daun pohon teh juga memiliki kekurangan seperti sifatnya yang beracun apabila tertelan dan dapat menyebabkan reaksi alergi. Minyak atsiri dari tanaman sitrus (jeruk, lemon, limau) diperoleh dari bagian kulit buahnya. Minyak atsiri sitrus ini memiliki beberapa kelebihan seperti ramah lingkungan, murah, dan juga alami. Selain itu kandungan dari tanaman sitrus memiliki natrium benzoate yang biasanya digunakan sebagai bahan pengawetan. Minyak atsiri sitrus juga digunakan dalam farmakologis seperti antikanker, antimikroba, antijamur, dan antioksidan. Kekurangan dari minyak atsiri ini sendiri adalah reaksi alergi yang dapat timbul saat digunakan. Untuk minyak kayu putih (*Eucalyptus oil*) diperoleh dari bagian daun pohon kayu putih. Kandungan minyak kayu putih memiliki manfaat untuk dekongestan, antispasmodic, antiseptic, antiflamasi, dll. [3]

Terdapat beberapa metode distilasi seperti distilasi sederhana, distilasi fraksional, distilasi vakum, dan distilasi uap. Distilasi sederhana berlangsung jika campuran dipanaskan dan Sebagian komponen volatil menguap naik dan didinginkan sampai mengembun pada dinding kondensor. Distilasi fraksional atau bertingkat terjadi saat proses komponen-

komponennya secara bertingkat diuapkan dan diembunkan. Distilasi vakum merupakan distilasi yang dilakukan dengan cara cairan diuapkan pada tekanan rendah. Distilasi uap adalah distilasi yang dilakukan untuk memisahkan komponen campuran pada temperatur lebih rendah dari titik didih normalnya. [4]

Terdapat beberapa hal yang memengaruhi distilasi atau penyulingan, seperti kadar air, temperatur air, ukuran bahan baku (bagian tanaman yang akan disulung), rasio bahan baku dan air, metode distilasi dan peralatan. Peningkatan performa distilasi dan efisiensi distilasi sudah dilakukan dengan beragam metode, seperti rekompresi uap mekanis, penggunaan pendingin kompresi uap, pembuatan model dan uji komparasi distilasi dengan metode yang berbeda. [5] [6] Pemodelan desain alat distilasi juga memengaruhi proses dan hasil distilasi, seperti ukuran inlet yang berbeda-beda. [7] Selain pemodelan, ukuran bahan baku akan memengaruhi proses distilasi terhadap hasil rendemen minyak atsiri. [8]

Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk membantu meningkatkan performa mesin distilasi adalah perancangan model kukusan untuk mesin distilasi. Pada penelitian ini dilakukan pengujian simulasi komparasi performa desain kukusan pada mesin distilasi kapulaga yang memvariasikan dua model jenis piringan kukusan dengan menggunakan *software* ANSYS.

2. Dasar Teori

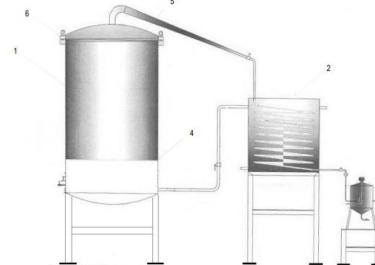
Distilasi atau penyulingan adalah suatu proses yang memisahkan campuran dengan dasar perbedaan titik didih (Supaya, 2019). Terdapat beberapa metode distilasi seperti distilasi sederhana, distilasi fraksional, distilasi vakum, dan distilasi uap. Distilasi sederhana berlangsung jika campuran dipanaskan dan sebagian komponen volatil menguap naik dan didinginkan sampai mengembun pada dinding kondensor. Distilasi fraksional atau bertingkat terjadi saat proses komponen-komponennya secara bertingkat diuapkan dan diembunkan. Distilasi vakum merupakan distilasi yang dilakukan dengan cara cairan diuapkan pada tekanan rendah. Dan distilasi uap adalah distilasi yang dilakukan untuk memisahkan komponen campuran pada temperatur lebih rendah dari titik didih normalnya.

2.1 Metode Distilasi

Terdapat beberapa jenis metode distilasi, yaitu:

a. Distilasi Uap

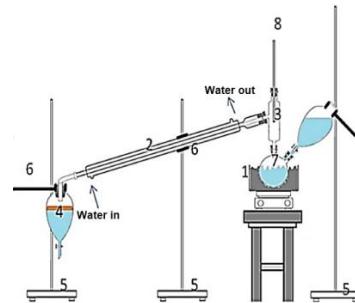
Distilasi uap atau distilasi kukus adalah proses penyulingan dimana tanaman atsiri dimasukkan dalam ketel yang berisi air dan dipanaskan dengan tanaman atsiri dan air yang dibatasi dengan saringan berlubang. Kemudian uap yang keluar akan dialirkan lewat pipa yang terhubung dengan kondensor dan akan berubah menjadi cairan (kondensat). [9] Contoh skema alat penyuling minyak atsiri dengan sistem kukus ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh Kontruksi Alat Penyuling Minyak Atsiri dengan Sistem Kukus [9]

b. Distilasi Air

Distilasi air atau dapat dikatakan distilasi dengan metode rendam, merupakan proses penyulingan dengan merendam dan merebus bahan baku secara langsung dengan air mendidih. Bahan baku tersebut akan mengapung di atas air atau terendam sempurna tergantung dari bobot jenis dan jumlah bahan baku yang akan disulung. Skema peralatan distilasi air ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh Skema Peralatan Distilasi Air [6]

c. Distilasi Ekstraksi Pelarut

Distilasi ekstraksi pelarut merupakan metode distilasi yang melarutkan komponen minyak atsiri menggunakan zat pelarut seperti heksana atau etanol ke bahan baku tanaman dengan tujuan senyawa minyak atsiri dapat larut dan kemudian

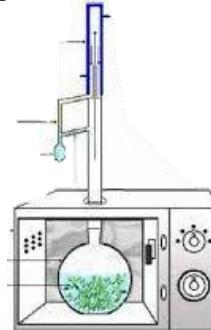
campuran minyak atsiri dengan pelarut akan dipisahkan. Pelarut tersebut akan menguap dan meninggalkan minyak atsiri yang pekat. [10]

d. Distilasi Vakum

Distilasi vakum merupakan metode distilasi yang terjadi pada tekanan rendah dan menggunakan pompa vakum. Pompa vakum berfungsi untuk menurunkan titik didih material atau komponen yang didistilasi. Dengan mengurangi tekanan, titik didih komponen juga menjadi rendah, sehingga membantu mencegah kerusakan senyawa yang diakibatkan oleh panas atau kerusakan pada senyawa bahan baku. [11]

e. *Microwave-assisted Hydrodistillation*

Distilasi air dengan bantuan *microwave* merupakan metode penyulingan yang menggabungkan distilasi air dan *microwave* untuk mengeskat minyak atsiri dari bagian tanaman. Proses distilasi ini sama dengan distilasi air, namun menggunakan bantuan *microwave* untuk mempersingkat waktu ekstraksi minyak atsiri dan meningkatkan efisiensinya. [11] Skema alat *microwave-assisted hydrodistillation* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Alat *Microwave-assisted Hydrodistillation* [11]

2.2 Proses Distilasi Biji Kapulaga

Aliran Proses distilasi biji kapulaga melibatkan penyaluran panas yang memainkan peran penting dalam pemisahan komponen-komponennya. Diawali dengan proses pemanasan dengan menggunakan pemanas eksternal. Pemanasan tersebut akan memicu perambatan panas dan menyebar melewati biji kapulaga. Pada saat proses pemanasan, akan terjadi juga proses penguapan dimana uap panas akan bergerak melewati biji kapulaga dan akan memisahkan komponen-komponen berdasarkan titik didih yang berbeda. Uap tersebut kemudian akan naik (proses konveksi) dan membantu pemindahan panas dari bawah ke atas. Uap tersebut kemudian akan mengalami kondensasi saat terpapar udara yang lebih dingin dan akan berubah kembali menjadi cairan. Setelah proses kondensasi selesai, cairan tersebut akan berkumpul pada bagian bawah kolom distilasi.

2.3 Minyak Atsiri

Minyak atsiri atau *essential oil* adalah zat berbau yang terkandung dalam tanaman. [12] Minyak atsiri adalah kelompok besar minyak nabati yang berwujud cairan kental namun mudah menguap pada suhu ruang. Minyak atsiri bersifat mudah menguap, berwujud cair pada suhu ruang, memiliki warna kekuningan, dan larut dalam pelarut organik tetapi tidak larut dalam air. [13]

2.4 Kapulaga

Kapulaga Jawa (*Amomum compactum*) dan kapulaga seberang (*Elettaria cardamomum*) merupakan jenis tanaman rempah dan tanaman herbal Indonesia yang sering digunakan sebagai bahan obat-obatan. Kapulaga memiliki aktivitas biologis berupa antibakteri, antijamur, dan memiliki kemampuan untuk menurunkan glukosa darah. [14] Bentuk biji kapulaga ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kapulaga

Menurut ISO (*International Organization for Standardization*), nilai standar minyak atsiri tanaman kapulaga ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Minyak Kapulaga [15]

| Jenis Uji | Persyaratan |
|-----------------------------|------------------------------|
| Keadaan warna | Kuning hampir tidak berwarna |
| Densitas (g/ml) | 0,191 – 0,936 |
| Indeks bias | 1,4620 – 1,4680 |
| Kelarutan dalam etanol 20°C | 70 % |

2.5 Parameter

Parameter atau kondisi yang menjadi tolak ukur pada penelitian ini adalah:

a. Nilai Perambatan Panas

Perambatan panas atau perpindahan panas adalah energi yang timbul akibat adanya perbedaan suhu di antara dua tempat berbeda. Nilai tersebut akan didapatkan melalui analisis menggunakan ANSYS.

b. Waktu Perambatan Panas

Waktu perambatan panas adalah waktu yang dibutuhkan oleh panas mulai dari dasar kukusan hingga mencapai titik tertinggi biji kapulaga

c. Kecepatan Perambatan Udara.

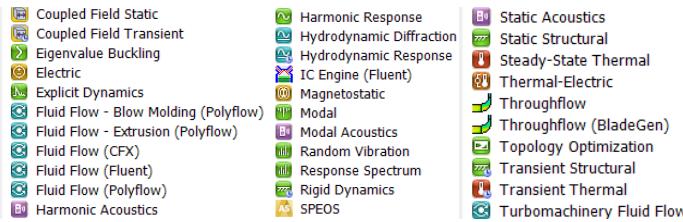
d. Koefisien Perpindahan Panas.

e. Nilai temperatur awal.

f. Nilai temperatur pemanas

2.6 ANSYS

ANSYS *engineering simulation software* adalah sebuah perangkat buatan Perusahaan ANSYS Inc., yang berasal dari Amerika. ANSYS digunakan untuk simulasi dan desain teknik dari produk-produk 3D. ANSYS menggunakan analisis elemen hingga untuk analisis struktural. *Finite Elements Analysis* (FEA) atau analisis elemen hingga terdapat pada bagian-bagian kecil yang terpecah menjadi *mesh* yang dihubungkan oleh *node*. [16] Tampilan ANSYS *workbench* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Analysis Systems ANSYS Workbench

a. ANSYS Fluid Flow (fluent)

ANSYS fluent merupakan sebuah perangkat lunak *computational fluid dynamics* (CFD) dan merupakan salah satu sistem pada ANSYS *workbench* yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait. ANSYS fluent digunakan untuk mencari bentuk aliran fluida, nilai perpindahan panas, permodelan turbulensi, reaksi kimia, pemberian kondisi batas, visualisasi dan analisis hasil.

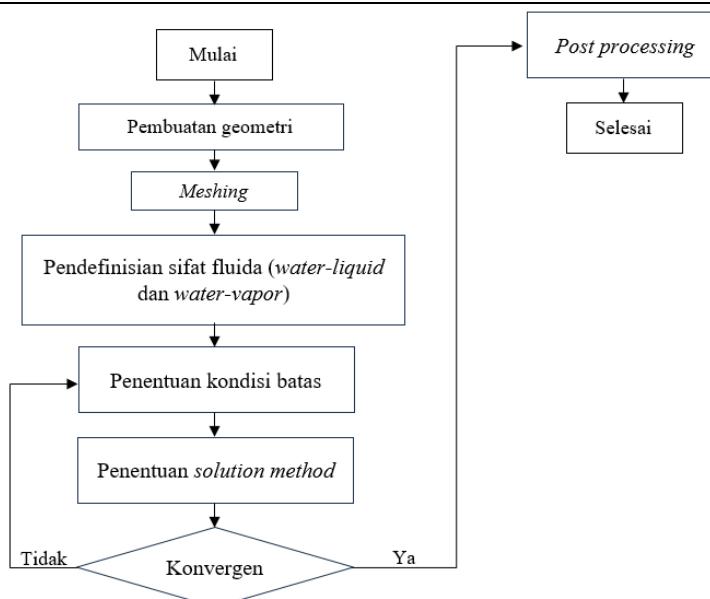
b. Model Turbulensi

Dalam aliran turbulen, keberadaan dinding memiliki pengaruh yang signifikan. Secara khusus, profil kecepatan rata-rata dipengaruhi oleh kondisi *no-slip* yang harus dipatuhi pada dinding. Namun, turbulensi juga dapat mengalami perubahan yang kompleks akibat interaksi dengan dinding. Ketika aliran berada sangat dekat dengan dinding, redaman viskositas dapat mengurangi fluktuasi kecepatan tangensial. Sebaliknya, efek pembatasan kinematik dapat menurunkan fluktuasi normal. Jauh dari wilayah dekat dinding, turbulensi cenderung meningkat dan menghasilkan energi kinetik yang lebih besar, disebabkan oleh gradien kecepatan rata-rata yang lebih tinggi. Permodelan turbulensi terdiri dari *K-omega Standard* ($k-\omega$), *k-epsilon* ($k-\epsilon$), *k-omega SST*, dan *Reynold Stress*.

3. Metode Penelitian

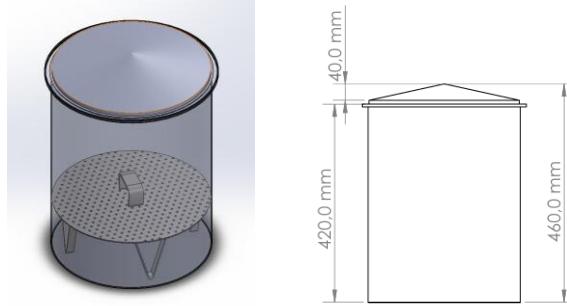
Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan *software* seperti *CAD* dan *Solidworks* untuk menggambar model objek, dan ANSYS untuk melakukan simulasi dan desain teknik dari model yang sudah didesain sebelumnya baik itu secara 2D atau 3D. ANSYS pada penelitian ini digunakan untuk melakukan simulasi yang terfokus struktur model, dan perambatan panas saat proses distilasi dilakukan. Setelah itu, dilakukan penetapan metode solusi, pengendalian solusi, dan batas konvergensi. Batas konvergensi yang ditetapkan akan memengaruhi hasil simulasi serta jumlah iterasi yang diperlukan dalam proses simulasi. Sebelum memulai simulasi, jumlah iterasi juga harus ditentukan, karena ini akan memengaruhi daya komputasi yang diperlukan. Dalam penelitian ini, perhitungan akan dilakukan dengan mengatur *number of time step* dan *time step size*.

Batas konvergensi yang ditetapkan akan memengaruhi hasil simulasi serta jumlah iterasi yang diperlukan dalam proses simulasi. Sebelum memulai simulasi, jumlah iterasi juga harus ditentukan, karena ini akan memengaruhi daya komputasi yang diperlukan. Hasil akhir dari simulasi kemudian dapat dianalisis melalui bagian *post-processing*.



Gambar 6. Diagram Alir Simulasi ANSYS

Penelitian ini diawali dengan pembuatan geometri model kukusan. Geometri model kukusan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Geometri Model (a) Kukusan Piringan (b) Geometri Model Alat Kukusan

Data geometri model kukusan piringan ditunjukkan pada Tabel 2.

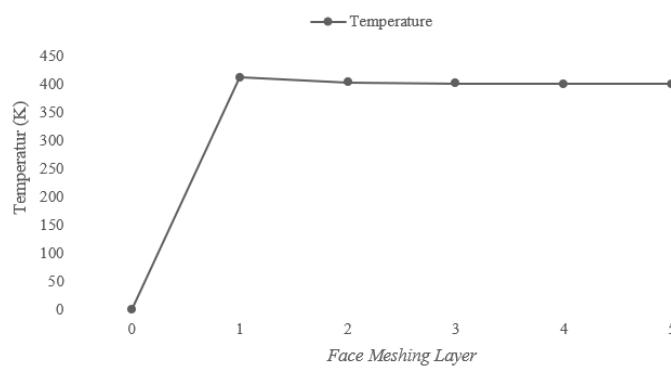
Tabel 2. Data Geometri Kukusan Piringan

| | |
|---|--------|
| Ketebalan piring kukusan piring | 2 mm |
| Diameter piring kukusan piring (ϕ) | 320 mm |
| Diameter lubang kukusan piring (ϕ) | 5 mm |
| Jumlah lubang piring kukusan piring | 271 |
| Jarak antar lubang kukusan piring | 16 mm |
| Tinggi badan kukusan piring | 420 mm |
| Tinggi tutup kukusan | 40 mm |
| Tinggi total kukusan | 460 mm |

Pada penelitian ini, diberikan kondisi batas pada bagian *heater* kukusan. Di mana kondisi batas yang diberikan adalah nilai temperatur sebesar 400K dan temperatur awal untuk perhitungan sebesar 400K. Perhitungan pada simulasi ini diatur *transient* karena perubahan terhadap waktu. Pada penelitian ini, perhitungan dilakukan dengan *time step size* sebesar 0,0005 dan *number of time steps* sebesar 2000.

4. Hasil dan Pembahasan

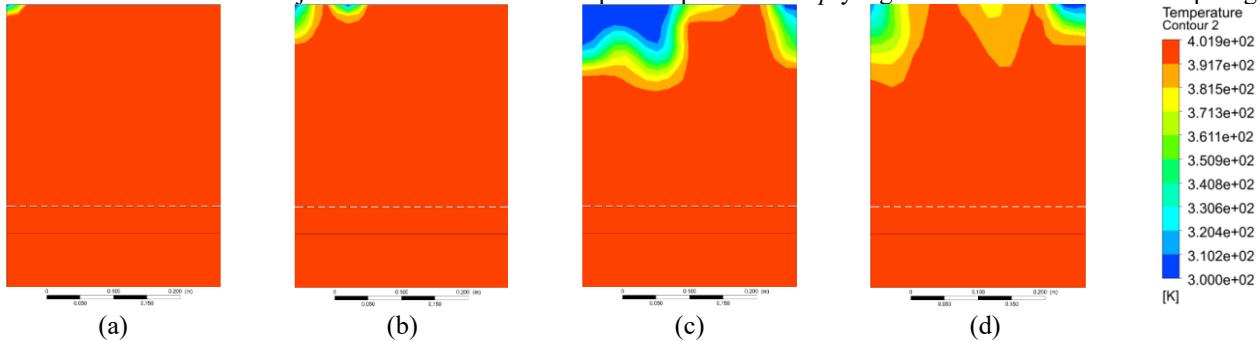
Uji *independency grid* adalah uji simulasi yang membuktikan bahwa hasil simulasi tidak lagi tergantung atau bersifat sensitif terhadap nilai *mesh*. Pada uji *independency grid* ini diperoleh dengan menguji tiga simulasi dengan tiga *face layer* yang berbeda yaitu 15 mm, 16 mm, 18 mm. Pada ketiga ukuran elemen *mesh* tersebut diperoleh nilai temperatur maksimum yang sama yaitu 400K. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai simulasi yang didapatkan telah valid. Pada Gambar 8 menunjukkan hasil uji *grid* pada simulasi, dimana dilakukan penambahan *meshing* dengan menambahkan jumlah *meshing* pada *face layer*, didapatkan hasil yang stabil dengan mempertimbangkan agar waktu komputasi yang lebih sedikit maka digunakan 3 *face layer*.



Gambar 8. Grafik Hasil Uji Grid Independency Test

4.1 Perbandingan Kontur Temperatur

Pada Gambar 9 ditunjukkan kontur distribusi temperatur pada *time step* yang berbeda-beda dari kukusan piringan.



Gambar 9. Perbandingan Kontur Distribusi Temperatur Kukusan Piring Pada Time Step (a) 500 (b) 1100 (c) 1500 (d) 2000

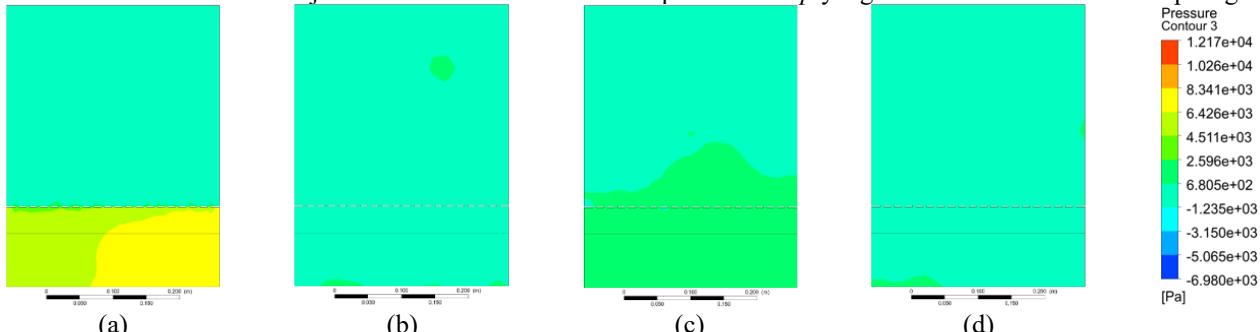
Tabel perbandingan nilai maksimum dan minimum temperatur dari kukusan piringan dan kukusan silinder ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Nilai Maksimum dan Minimum Temperatur

| Model Kukusan | Temperatur (K) | |
|---------------|----------------|---------|
| | Maximum | Minimum |
| Piring | 401 | 0 |

4.2 Perbandingan Kontur Tekanan

Pada Gambar 10 ditunjukkan kontur distribusi tekanan pada *time step* yang berbeda-beda dari kukusan piringan.



Gambar 10. Perbandingan Kontur Distribusi Tekanan Kukusan Piring Pada Time Step (a) 230 (b) 1000 (c) 1390 (d) 2000

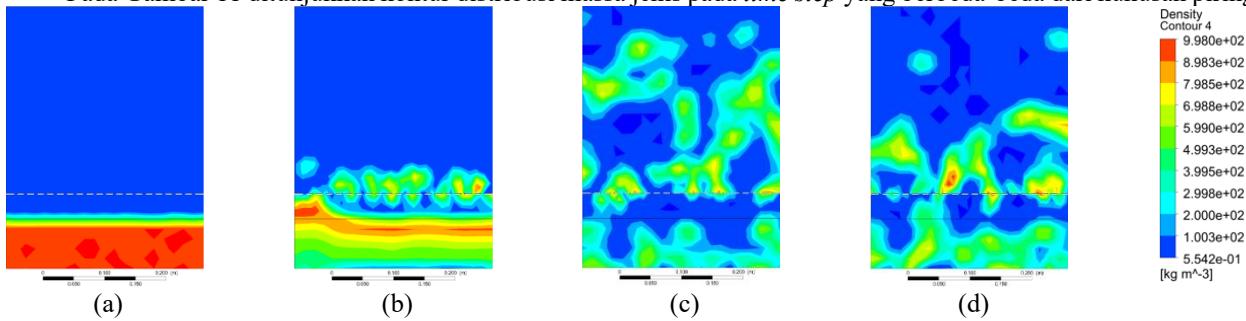
Tabel perbandingan nilai maksimum dan minimum tekanan dari kukusan piringan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Perbandingan Nilai Maksimum dan Minimum Tekanan

| Model Kukusan | Tekanan (Pa) | |
|---------------|---------------------|----------------------|
| | Maximum | Minimum |
| Piring | 8.341×10^3 | -1.235×10^3 |

4.4 Perbandingan Kontur Massa Jenis

Pada Gambar 11 ditunjukkan kontur distribusi massa jenis pada *time step* yang berbeda-beda dari kukusan piringan.



Gambar 11. Perbandingan Kontur Distribusi Massa Jenis Kukusan Piring Pada *Time Step* (a) 0 (b) 120 (c) 850 (d) 2000

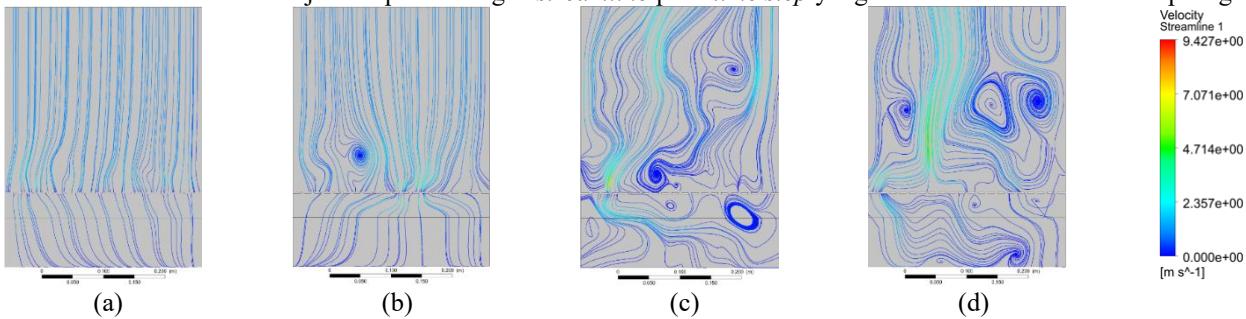
Tabel perbandingan nilai maksimum dan minimum massa jenis dari kukusan piringan dan kukusan silinder ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Perbandingan Nilai Maksimum dan Minimum Massa Jenis

| Model Kukusan | Massa Jenis (kg/m ³) | |
|---------------|----------------------------------|------------------------|
| | Maximum | Minimum |
| Piring | $9,980 \times 10^2$ | $5,542 \times 10^{-1}$ |

4.5 Perbandingan *Velocity Streamline*

Pada Gambar 12 ditunjukkan perbandingan *streamline* pada *time step* yang berbeda-beda dari kukusan piringan.



Gambar 12. Perbandingan Streamline Kukusan Piring Pada *Time Step* ke (a) 100 (b) 140 (c) 700 (d) 2000

Tabel perbandingan nilai maksimum dan minimum kecepatan aliran dari kukusan piringan dan kukusan silinder ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Tabel Perbandingan Nilai Maksimum dan Minimum Kecepatan Aliran

| Model Kukusan | Kecepatan Aliran (m/s) | |
|---------------|------------------------|---------|
| | Maximum | Minimum |
| Piring | 9,427 | 0 |

5. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan terkait dengan penelitian ini :

1. Pemodelan simulasi dari kedua tipe kukusan dengan *setup* yang sama, menghasilkan nilai tekanan, densitas, temperatur yang tidak jauh berbeda.
2. Kukusan bersilinder menghasilkan kontur *volume fraction*, distribusi suhu, densitas, dan tekanan yang lebih merata pada *domain* fluida dibandingkan dengan kukusan piringan.
3. Aliran fluida pada kukusan bersilinder memiliki kecepatan lebih tinggi daripada kukusan piringan. Dan aliran fluida pada kukusan bersilinder bergerak lebih dominan pada beberapa tempat sedangkan pada kukusan piringan, pergerakan fluida cukup merata.
4. Berdasarkan hasil yang ditampilkan, dapat dikatakan bahwa model kukusan bersilinder lebih efektif dalam proses distilasi karena persebaran suhu dan aliran fluida yang lebih cepat. Dan dengan volume biji kapulaga yang lebih sedikit, membuat proses distilasi lebih cepat namun dengan hasil yang lebih sedikit.

6. Daftar Pustaka

- [1] Ríos dan Jose-Luis, *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 2016.
- [2] Nugroho Tri Wahyudi, Ilham, dkk., "Rancangan Alat Distilasi Untuk Menghasilkan Kondensat Dengan Metode Distilasi Satu Tingkat," *Jurnal Chemurgy*, vol. 01, hal. 30, 2017.
- [3] Gulzar Nayik dan Ansari, "Extraction, Characterization, and Applications in Essential Oils," s.l.:Elsevier Inc., hal. 179, 217, 479, 2023.
- [4] Kuni Nadliroh dan Fauzi, "Optimasi Waktu Fermentasi Produksi Bioetanol dari Sabut Kelapa Muda Melalui Distilator Refluks," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol.9, hal. 126, 2021.
- [5] Tran Thien Hien, "Evaluation of Influencing Factors and Technological Processes for the Production of Orange Essential Oil (*Citrus sinensis*) on Equipment Semi-industrial Distillation," *Indonesian Journal of Chemistry UGM*, vol.22, hal. 742-745, 2022.
- [6] Wildan Habibi, "Perbandingan Metode Steam Distillation dan Steam-Hydro Distillation dengan Microwave Terhadap Jumlah Rendemen serta Mutu Minyak Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*)," *Jurnal Teknik POMITS*, vol.2, hal. 235-238, 2013.
- [7] Ung Soo Kim, Jin Ho Kim, dkk., "Analysis of Distillation Characteristics via CFD (Computational Fluid Dynamics) of Korean traditional 'Sojutgori' and Study on Structure For Distillation Efficiency Enhancement," *Food Science & Nutrition*, hal. 592, 2022.
- [8] Maulana M. Al Hanief, "Ekstraksi Minyak Atsiri dari Akar Wangi Menggunakan Metode Steam-Hydro Distillation dengan Pemanas Microwave," *Jurnal Teknik POMITS*, vol.2, hal. 221-222, 2013.
- [9] Badan Standar Nasional, "Alat Penyuling Minyak Atsiri - Bagian 1: Sistem Kukus - Syarat Mutu dan Metode Uji," *Jurnal Standarisasi*, hal. 1, 2014.
- [10] Victor R. Preedy, "Essential Oils In Food Preservation, Flavor And Safety," Elsevier Inc., hal. 31, 2016.
- [11] Ahmet Akdağ, "Distillation Methods of Essential Oils," *S.Ü. FEN FAKÜLTESİ FEN DERGİSİ*, vol. 45, hal. 24-28, 2019.
- [12] Ernest Guenther, "The Essential Oils," First Edition, New York, 1947.
- [13] Wissal Dhifi, dkk., "Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review," *Medicines*, hal. 2, 2016.
- [14] Ratih D. Yudhani, dkk., "Acute Toxicity Test of *Amomum cardamomum* (Kapulaga) Seed Extract on Hepatic Trasaminase Enzyme in Winstar Rats," *Indonesian Journal of Clinical Pharmacy*, vol. 9, hal. 288, 2020.
- [15] International Organization for Standardization, "Oil of cardamom [*Elettaria cardamomum*] (L.) Maton," hal. 1-2, 2004.
- [16] ANSYS, *ANSYS Guidebook*, 2020.