

RANCANG BANGUN MESIN DISTILASI AMPAS KOPI ARABIKA SKALA LABORATORIUM**Taufan Adi Satya¹, *Dede Lia Zariatin¹**¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jl. Raya Lenteng Agung, Serengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Indonesia(*)Alamat e-mail: dedeliazariatin@univpancasila.ac.id**Abstract**

The utilization of spent coffee grounds as a value-added biomass waste has become an important topic in sustainable technology development. This study aims to design, fabricate, and evaluate the performance of a laboratory-scale distillation unit for arabica coffee grounds that is both economical and easy to implement. The research employs a design-and-experiment approach based on the Pahl & Beitz methodology, starting from literature review and observation of similar equipment, followed by needs identification, specification setting, concept generation, and selection of the best design variant. Variant 1 was selected and further developed into a detailed 3D model using Solidworks, including a modified pressure cooker as the distillation tank, a water-cooled coil condenser, and a condenser support frame. The condenser was thermally designed using LMTD and overall heat transfer coefficient calculations, then validated through CFD simulation. The manufacturing process was mapped using an Operating Process Chart and supported by a Standard Operating Procedure to ensure consistency and safety. The resulting unit has dimensions of 669 × 350 × 590 mm, a 7 L pressure cooker capacity, and a total fabrication cost of approximately IDR 1,303,400. Performance tests with three water–coffee grounds ratios (1 L:100 g, 1 L:500 g mixed grounds, and 500 mL:500 g arabica grounds) showed stable operation at 2 bar, boiler temperatures of 102–115 °C, and distillate yields of about 500 mL for the first two ratios and 250 mL for the third. Overall, the developed system is considered feasible as a laboratory-scale prototype for the distillation of arabica coffee grounds.

Abstrak

Pemanfaatan ampas kopi sebagai limbah biomassa bernilai tambah menjadi salah satu isu penting dalam pengembangan teknologi berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan merancang, memproduksi, dan menguji kinerja mesin distilasi ampas kopi arabika skala laboratorium yang ekonomis dan mudah direalisasikan. Metode penelitian bersifat perancangan dan eksperimen dengan pendekatan Pahl & Beitz, dimulai dari studi literatur, observasi alat sejenis, identifikasi kebutuhan, penentuan spesifikasi, pengembangan beberapa varian konsep, hingga pemilihan varian terbaik. Varian 1 dipilih sebagai konsep terpilih dan kemudian dimodelkan secara detail menggunakan Solidworks, termasuk tangki distilasi (pressure cooker termodifikasi), kondensor koil berpendingin air, serta penyangga kondensor. Perancangan kondensor dianalisis secara termal melalui perhitungan LMTD dan koefisien perpindahan panas, kemudian divalidasi dengan simulasi CFD. Proses manufaktur dipetakan menggunakan OPC dan disertai penyusunan SOP untuk menjamin konsistensi dan keselamatan kerja. Hasil menunjukkan mesin memiliki dimensi 669 × 350 × 590 mm, kapasitas pressure cooker 7 L, dan biaya pembuatan sekitar Rp1.303.400,00. Pengujian dengan tiga variasi rasio air–ampas kopi (1 L:100 g, 1 L:500 g campuran, dan 500 mL:500 g arabika) menunjukkan mesin mampu beroperasi pada tekanan 2 bar dengan suhu boiler 102–115 °C dan menghasilkan distilat sekitar 500 mL untuk dua rasio pertama

Article History

Submitted: 1 December 2025

Accepted: 1 December 2025

Published: 1 December 2025

Keywords

Arabica Coffee
Grounds; Distillation;
Laboratory-Scale Still
Design; CFD
Simulation; Biomass
Waste Valorization

Riwayat Artikel

Submitted: 1 December 2025

Accepted: 1 December 2025

Published: 1 December 2025

Kata Kunci

Ampas Kopi Arabika;
Distilasi; Perancangan
Mesin; Simulasi CFD;
Pemanfaatan Limbah
Biomassa

serta 250 mL untuk rasio ketiga. Secara keseluruhan, mesin distilasi yang dikembangkan dinyatakan layak sebagai prototipe alat distilasi skala laboratorium untuk pemanfaatan ampas kopi arabika.

Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan limbah kopi, khususnya ampas kopi, telah menjadi perhatian penting dalam bidang penelitian dan industri (Bahar et al., 2025; Rochmah et al., 2021). Kopi Arabika, sebagai salah satu varietas kopi yang paling banyak dikonsumsi di dunia, menimbulkan jumlah limbah yang signifikan setelah proses penyeduhan (Siregar, 2023). Ampas kopi tidak hanya terdiri dari sisa-sisa biji kopi, tetapi juga mengandung berbagai senyawa bioaktif dan antioksidan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan (Diamahesa & Muahiddah, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa ampas kopi memiliki potensi pemulihan senyawa klorogenat (CQA) dan kafein, namun terdapat perbedaan dalam konsentrasi yang dapat dipulihkan tergantung pada jenis dan proporsi biji kopi yang digunakan (Andrade et al., 2022).

Proses distilasi dapat menjadi metode efektif untuk mengekstrak komponen berharga dari ampas kopi Arabika (Firyanto & Mulyaningsih, 2020; Rahasbistara & Melani, 2024). Dengan memisahkan komponen-komponen berdasarkan perbedaan titik didih, distilasi dapat menghasilkan ekstrak yang terkonsentrasi dari senyawa bioaktif yang lebih berguna dalam aplikasi kesehatan maupun industri (Pagalla, 2024). Karakterisasi fisik-kimia ampas kopi menunjukkan bahwa limbah ini memiliki sifat yang dapat dimanfaatkan dalam pengolahan lebih lanjut, meskipun memiliki fokus pada pengolahan ampas kopi menjadi pelet dan karakteristiknya (Iryani et al., 2023).

Penggunaan ampas kopi sebagai sumber bahan mentah memiliki potensi yang besar, tidak hanya untuk aplikasi di industri makanan, tetapi juga dalam pengolahan limbah dan keberlanjutan lingkungan. Pada konteks keberlanjutan, penggunaan ampas kopi sebagai bahan baku untuk teknologi yang lebih ramah lingkungan semakin penting. Ampas kopi dapat diolah menjadi pelet yang dapat digunakan sebagai bahan bakar terbarukan, sehingga mendukung pengurangan limbah dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Proses distilasi yang dirancang untuk ampas kopi Arabika tidak hanya membantu dalam mendapatkan produk yang lebih bernilai tetapi juga mendorong praktik ramah lingkungan yang selaras dengan tujuan pengurangan jejak karbon global (Nosek et al., 2020).

Seiring dengan meningkatnya pemahaman akan potensi ampas kopi, perancangan mesin distilasi untuk skala laboratorium menjadi tantangan yang menarik. Melalui inovasi dalam desain dan teknologi, mesin ini dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi senyawa berharga, mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang ada, dan memberikan alternatif cerdas untuk pemanfaatan limbah pertanian. Hal ini sangat relevan dalam konteks saat ini, di mana keberlanjutan dan inovasi dalam pengelolaan limbah menjadi fokus utama di banyak bidang penelitian dan industri. Dengan demikian, rancangan mesin distilasi untuk ampas kopi Arabika tidak hanya berkontribusi pada inovasi teknologi, tetapi juga memiliki implikasi luas terhadap nilai ekonomi, keberlanjutan, serta pengelolaan limbah yang lebih baik. Inisiatif seperti ini mengundang perhatian untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan yang lebih mendalam mengenai potensi ampas kopi sebagai sumber daya yang berharga.

Metode Penelitian

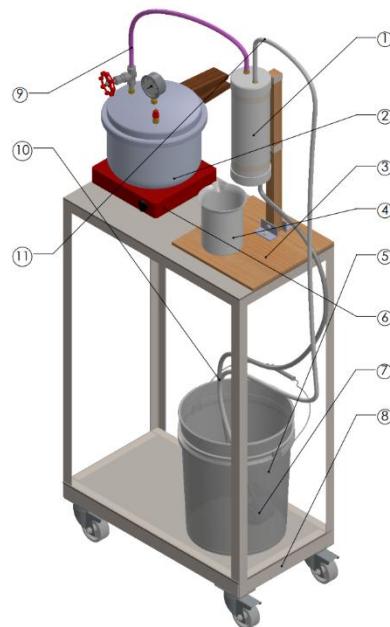
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini bersifat perancangan dan eksperimen (Hardani et al., 2020), dengan tahapan utama dimulai dari studi literatur dan observasi. Studi literatur dilakukan di Perpustakaan Universitas Pancasila, Perpustakaan Nasional, serta berbagai sumber digital untuk memperoleh dasar teori mengenai proses distilasi, karakteristik ampas kopi arabika, komponen mesin distilasi, serta metode perancangan produk, selanjutnya dilakukan observasi langsung terhadap beberapa peralatan sejenis, seperti berbagai tipe tangki, kondensor, pipa, dan komponen pendukung lainnya, guna memahami konfigurasi, cara kerja, dan kekurangan peralatan yang sudah ada sebagai referensi awal perancangan.

Berdasarkan landasan teori dan hasil observasi, proses perancangan dilakukan menggunakan metode *Pahl & Beitz* yang meliputi identifikasi pesaing, identifikasi kebutuhan pengguna, penyusunan tabel *demand* dan *wishes*, serta penetapan spesifikasi awal. Identifikasi kebutuhan didukung dengan penyebaran kuesioner kepada responden yang kompeten di bidang terkait untuk menentukan aspek-aspek yang dianggap penting, seperti kemudahan penggunaan, kenyamanan, kemudahan pemindahan, faktor keselamatan, keramahan lingkungan, kemudahan perawatan, keandalan, efisiensi energi, dan kualitas hasil distilasi. Kebutuhan tersebut kemudian diterjemahkan ke dalam struktur fungsi dan sub-fungsi, disusun tabel solusi fungsi, dan dikembangkan tiga varian konsep mesin distilasi. Setiap varian dievaluasi menggunakan tabel kriteria dan pembobotan berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan, sehingga diperoleh varian 1 sebagai konsep terpilih dengan nilai bobot tertinggi (Pahl et al., 2007).

Konsep varian terpilih selanjutnya dikembangkan menjadi desain detail menggunakan perangkat lunak *Solidworks*, meliputi pemodelan tangki distilasi, sistem pemanas, kondensor, rangka, serta komponen pendukung lainnya. Analisis desain dilakukan dengan simulasi perpindahan panas (*heat transfer*) untuk memastikan kinerja termal sistem sesuai dengan kebutuhan proses distilasi. Setelah desain dinyatakan memenuhi kriteria, dilakukan proses manufaktur yang mencakup modifikasi *pressure cooker* dan rancang bangun kondensor, kemudian dirakit menjadi satu kesatuan mesin distilasi ampas kopi skala laboratorium. Tahap akhir adalah pengujian kinerja mesin untuk menilai kelancaran operasi, keamanan, dan kualitas hasil distilasi; jika ditemukan kendala, dilakukan perbaikan komponen hingga mesin bekerja sesuai perencanaan. Data hasil pengujian digunakan sebagai dasar penyusunan analisis, pembahasan, dan penarikan kesimpulan terhadap kinerja mesin yang telah dirancang dan dibuat.

Hasil dan Pembahasan

Pemilihan konsep varian terbaik yang dihasilkan pada tahap perancangan sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan uraian mengenai komponen utama mesin, perencanaan detail pada setiap bagian, proses simulasi termal, tahapan manufaktur, hingga pengujian kinerja mesin menggunakan beberapa variasi rasio air dan ampas kopi. Seluruh rangkaian analisis ini bertujuan untuk menilai apakah mesin yang dirancang telah memenuhi kebutuhan fungsional, operasional, serta ekonomis yang telah ditetapkan pada bab sebelumnya. Secara umum, hasil akhir perancangan diwujudkan dalam bentuk mesin distilasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan rincian komponen utama yang ditampilkan pada Tabel 1.

**Gambar 1.** Mesin Distilasi Ampas Kopi Arabika Skala Laboratorium**Tabel 1.** Bagian Mesin Distilasi

No.	Nama Komponen	Keterangan
1	Kondensor	Dibuat
2	<i>Pressure Cooker</i>	Dimodifikasi
3	Penyangga Kondensor	Dibuat
4	Collector Glass	Dibeli
5	Reservoir	Dibeli
6	Kompor Listrik	Dibeli
7	Pompa Air	Dibeli
8	Meja Mesin	Dibeli
9	Selang Uap Distilasi	Dibeli
10	Selang Air Kondensor Keluar	Dibeli
11	Selang Air Kondensor Masuk	Dibeli

Pemilihan varian 1 sebagai konsep terpilih merupakan langkah penting yang menjadi dasar seluruh proses perencanaan detail dan manufaktur. Varian ini dipilih karena memiliki nilai pembobotan tertinggi dibandingkan varian 2 dan varian 3 pada analisis pemilihan konsep yang dilakukan pada Bab III, terutama dari aspek kemudahan pengoperasian, efisiensi energi, keamanan, dan kesesuaian untuk skala laboratorium. Varian 1 mengintegrasikan kompor listrik, *pressure cooker* yang dimodifikasi, serta kondensor tipe koil dengan sistem pendingin air bersirkulasi, sehingga mampu mengakomodasi kebutuhan penelitian distilasi ampas kopi dengan biaya investasi yang relatif rendah dibandingkan mesin distilasi komersial yang ditinjau pada bagian identifikasi pesaing. Pemilihan komponen yang dibuat sendiri (seperti kondensor dan penyangga kondensor) maupun yang dibeli (seperti kompor listrik, *pressure cooker*, pompa air, dan meja mesin) sebagaimana dirangkum pada Tabel 1, juga menjadi strategi untuk menyeimbangkan antara kemudahan manufaktur, ketersediaan material, dan biaya.

Karakteristik bahan baku, yaitu ampas kopi arabika, menjadi faktor penting yang mempengaruhi rancangan dan pengoperasian mesin. Data sifat fisik ampas kopi yang ditunjukkan

pada Tabel 2, seperti massa jenis, kadar air, dan nilai kalor, memberikan gambaran mengenai perilaku termal bahan selama proses pemanasan dan penguapan, untuk keperluan pembandingan, karakteristik ampas kopi robusta pada Tabel 2 turut disajikan agar terlihat perbedaan kandungan air dan nilai kalor di antara keduanya. Informasi ini berperan dalam memahami sejauh mana energi yang dibutuhkan, potensi pembentukan uap, serta kemungkinan pengaruh jenis ampas kopi terhadap hasil distilasi. Penggunaan ampas kopi yang telah dikeringkan dan berukuran halus juga dimaksudkan agar perpindahan panas dan proses pelepasan minyak atsiri dapat berlangsung lebih efektif.

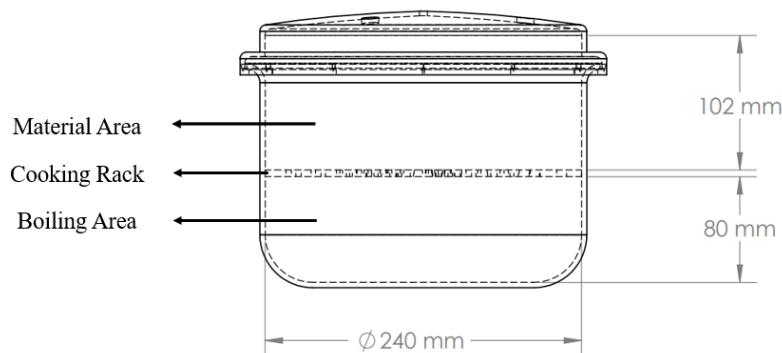
Tabel 2. Karakteristik Ampas Kopi Arabika dan Robusta

Kopi Arabika	
Massa Jenis	460 kg/m ³
Kadar Air	10,03 %
Nilai Kalor	19,88 J/kg
Kopi Robusta	
Massa Jenis	480 kg/m ³
Kadar Air	12,00 %
Nilai Kalor	20,93 J/kg

Dari sisi perencanaan *pressure cooker*, penelitian ini memanfaatkan panci presto kapasitas 7 liter (Tabel 3) yang dimodifikasi agar dapat berfungsi sebagai tangki boiler sekaligus ruang distilasi. Pembagian volume *internal pressure cooker* menjadi area *boiler* dan area material, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2, membuat sistem ini mampu bekerja dalam dua mode, yaitu distilasi air dan distilasi uap-air. Pada metode distilasi uap-air, kapasitas air dibatasi sebesar 3 liter untuk menjaga ruang yang cukup bagi uap dan material distilasi. Hal ini berpengaruh langsung pada perhitungan kebutuhan panas dan waktu pemanasan. Perhitungan energi yang diperlukan untuk memanaskan air dari 25°C hingga 120°C menghasilkan total kebutuhan panas sekitar 7.966 kJ, yang kemudian digunakan untuk menghitung waktu penguapan air pada daya kompor 600 W. Hasil perhitungan menunjukkan waktu penguapan sekitar 13.277 detik atau ±3,7 jam, sehingga memberikan gambaran realistik mengenai durasi proses yang harus disiapkan pada saat pengujian.

Tabel 3. Spesifikasi *Pressure cooker*

Merek	Happy Call
Kapasitas Total	7 Liter
Material	Alumunium
Dimensi	240 x 160 mm
Tebal Dinding	3,5 mm

**Gambar 2.** Pembagian Area Pada *Pressure cooker*

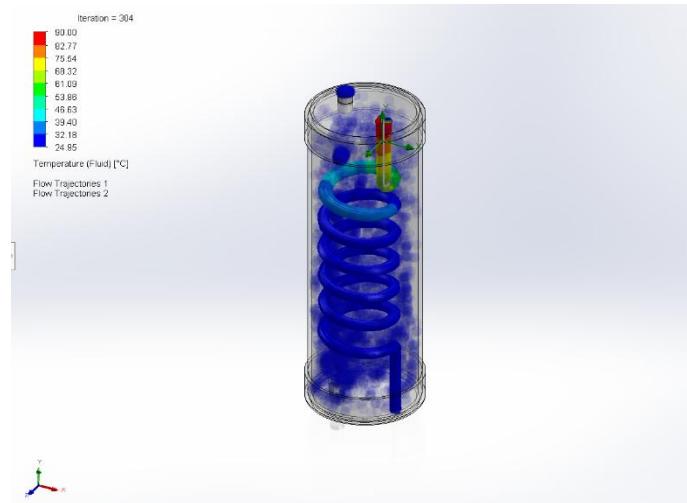
Perancangan kondensor menjadi bagian krusial berikutnya, mengingat keberhasilan proses distilasi sangat bergantung pada kemampuan sistem untuk mengubah uap hasil distilasi menjadi cairan (hidrosol maupun minyak atsiri). Melalui pendekatan perpindahan panas, dilakukan perhitungan selisih temperatur logaritmik rata-rata (*Log Mean Temperature Difference/LMTD*), laju aliran massa uap (\dot{m}), laju perpindahan panas (\dot{Q}), serta koefisien perpindahan panas pada sisi dalam dan luar tube. Data kondisi operasi, seperti temperatur uap masuk dan keluar, serta temperatur air pendingin masuk dan keluar, digunakan untuk mendapatkan nilai LMTD sebesar 34°C . Nilai ini, bersama dengan laju aliran massa uap $0,00022 \text{ kg/s}$ dan koefisien perpindahan panas total U sebesar $0,0348 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, menghasilkan kebutuhan luas permukaan tube sekitar $0,014 \text{ m}^2$. Dari luas permukaan tersebut, diperoleh panjang tube tembaga sekitar $0,8 \text{ m}$ yang kemudian ditambah faktor keamanan 20%, sehingga panjang akhir tube ditetapkan 1 m . Ringkasan hasil perhitungan ini disajikan secara sistematis pada Tabel 4 untuk memudahkan peninjauan kembali.

Tabel 4. Rancang Bangun Kondensor

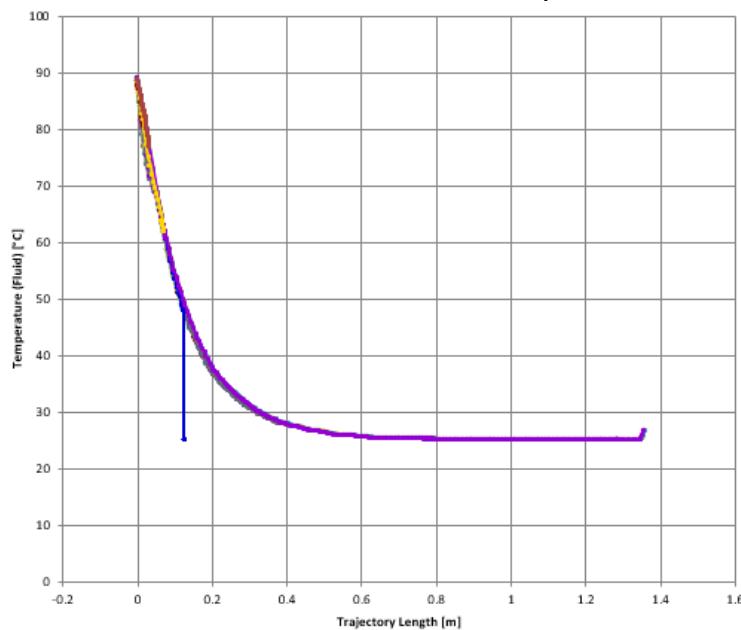
Perhitungan	Hasil
<i>Log Mean Temperature Differential (LMTD)</i>	34°C
Massa jenis aliran uap (\dot{m})	$0,00022 \text{ kg/s}$
Laju perpindahan panas (\dot{Q})	$0,0175 \text{ kW}$
Nilai koefesien perpindahan panas pada sisi dalam (h_i)	$7,04 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
Nilai koefesien perpindahan panas pada sisi luar (h_o)	$0,035 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
Koefesien perpindahan panas total (U)	$0,0348 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$
Luas permukaan tube (A)	$0,014 \text{ m}^2$
Panjang tube (L)	1 m

Validasi awal terhadap rancangan kondensor dilakukan melalui simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan *Solidworks* 2022. Simulasi ini memodelkan aliran uap panas di dalam tube tembaga dan aliran air pendingin di dalam shell, dengan memasukkan parameter temperatur uap masuk 90°C , laju aliran massa uap $0,00022 \text{ kg/s}$, serta temperatur air pendingin 25°C dengan debit sekitar 60 liter/menit. Hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 3 menunjukkan penurunan temperatur uap sepanjang lintasan kondensor, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan grafik penurunan suhu uap distilasi terhadap panjang kondensor. Dari grafik tersebut dapat diinterpretasikan bahwa pada jarak sekitar $0\text{--}0,2 \text{ m}$ terjadi penurunan energi termal yang signifikan hingga suhu turun di bawah titik didih, sehingga memicu perubahan fase dari gas

menjadi cair. Proses ini sejalan dengan konsep teori, di mana penurunan suhu menyebabkan energi kinetik molekul berkurang, jarak antarpartikel mengecil, dan gaya tarik-menarik antarmolekul meningkat hingga terbentuk fase cair (hidrosol). Simulasi ini juga mengonfirmasi bahwa koefisien perpindahan panas total yang diperoleh dari perhitungan teoritis mampu menghasilkan penurunan suhu yang sesuai dengan kebutuhan proses distilasi.



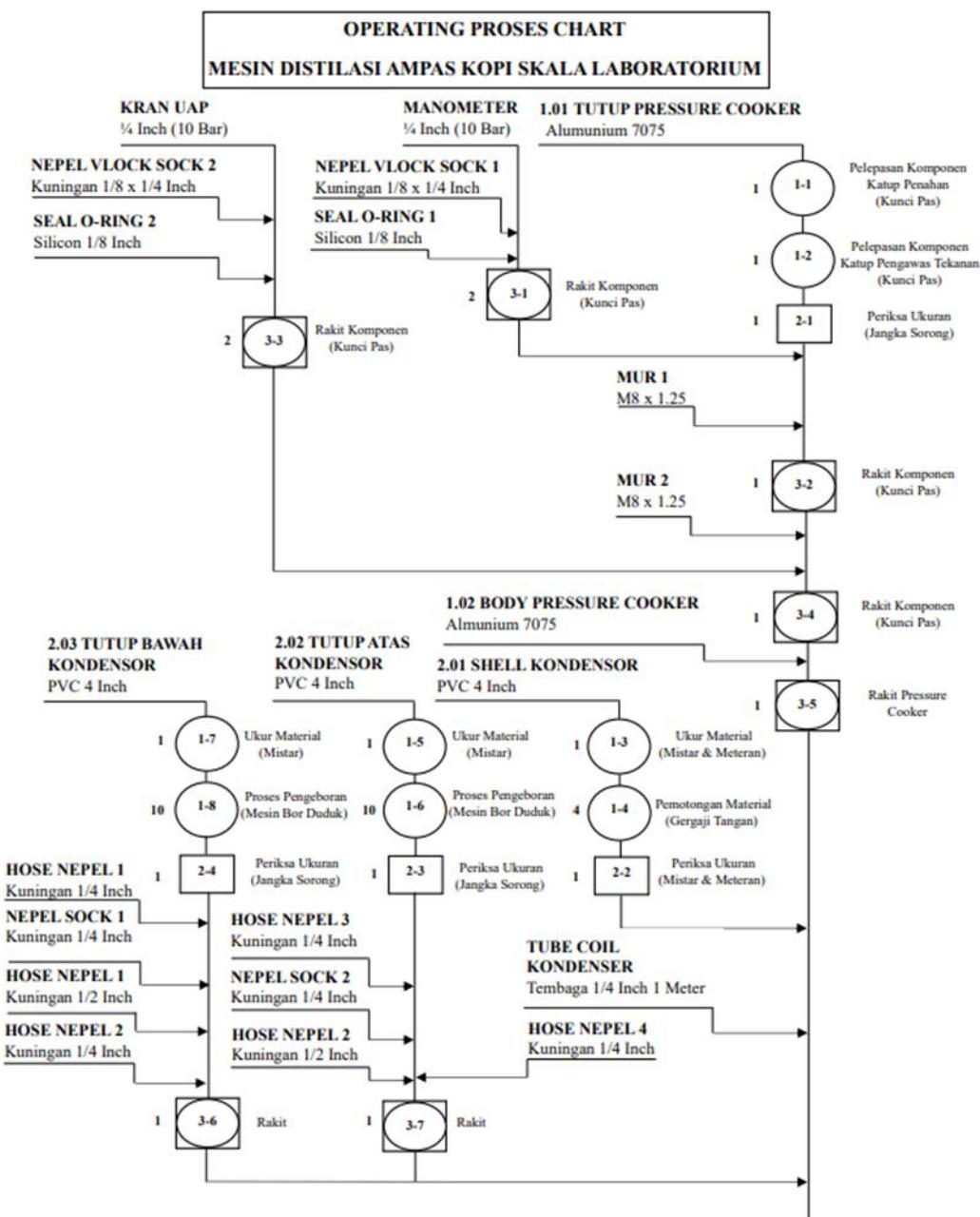
Gambar 3. Hasil Simulasi CFD Penurunan Temperatur Kondensor

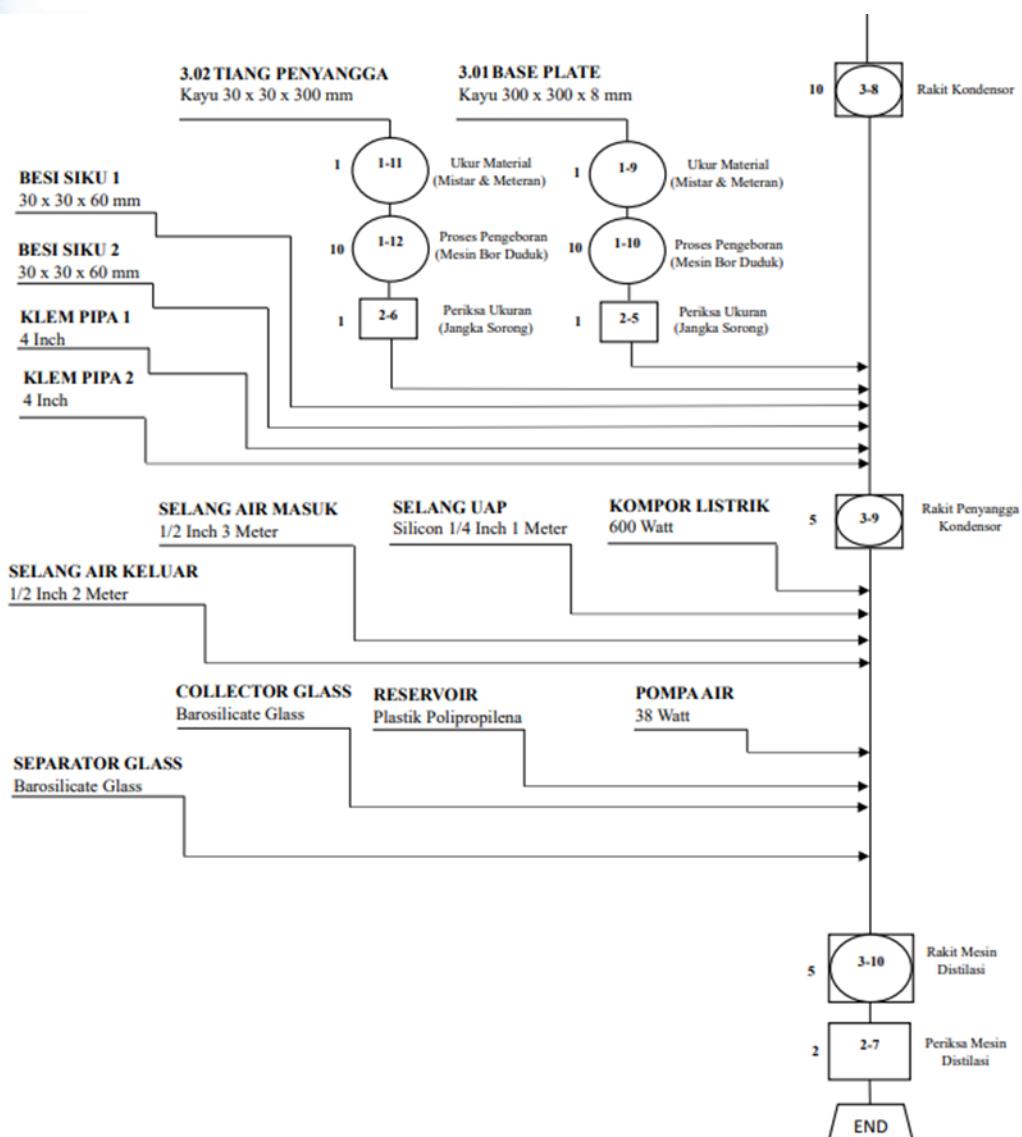


Gambar 4. Grafik Penurunan Suhu Uap Distilasi

Tahap berikutnya adalah proses manufaktur, yang digambarkan secara menyeluruh melalui *Operating Process Chart (OPC)* pada Gambar 5. OPC memuat urutan operasi, pemeriksaan, serta perakitan yang dilakukan mulai dari modifikasi *pressure cooker*, pembuatan kondensor, pembuatan penyangga kondensor, hingga perakitan keseluruhan mesin. Dari *OPC* diketahui bahwa terdapat 12 proses operasi dengan total waktu 51 menit, 7 proses pemeriksaan dengan total waktu 8 menit, dan 10 proses perakitan dengan total waktu 12 menit, sehingga total waktu proses

manufaktur mencapai 71 menit. Informasi ini menunjukkan bahwa dari sisi teknis, proses pembuatan mesin masih dalam kategori sederhana dan dapat di replikasi dengan fasilitas bengkel yang umum dijumpai di lingkungan laboratorium teknik.





Gambar 5. OPC Mesin Distilasi Ampas Kopi Skala Laboratorium

Standard Operating Procedure (SOP) kemudian disusun untuk memastikan bahwa proses pembuatan dan pengoperasian mesin dapat dilakukan secara konsisten dan aman. Pada tahap modifikasi *pressure cooker*, misalnya, dilakukan pelepasan komponen awal pada tutup panci, kemudian pemasangan manometer, kran uap, dan safety valve menggunakan nepel, *seal tape*, dan *silicon seal o-ring* untuk mencegah kebocoran, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 hingga Gambar 8. Proses rancang bangun kondensor juga diuraikan langkah demi langkah, mulai dari pemotongan pipa PVC sebagai shell (Gambar 9), proses *drilling* penutup *shell* (Gambar 10), pemasangan *hose* nepel dan *fitting* (Gambar 11), hingga perakitan akhir kondensor (Gambar 12). Demikian pula, pembuatan penyangga kondensor dan *base plate* (Gambar 10) melibatkan perhitungan waktu pemesinan dan *material removal rate* (MMR), yang dirangkum dalam beberapa

tabel perhitungan waktu pemesinan. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian tidak hanya berfokus pada aspek desain, tetapi juga memperhatikan efisiensi proses produksi.



Gambar 6. Pelepasan Komponen *Pressure Cooker*



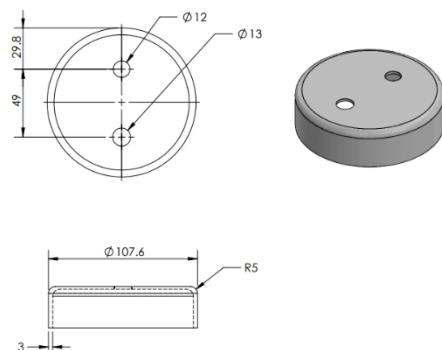
Gambar 7. Tutup *Pressure Cooker* Setelah Pelepasan Komponen



Gambar 8. Tutup *Pressure Cooker* Setelah Modifikasi



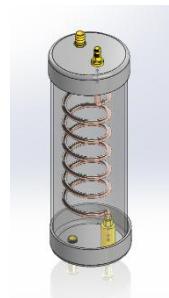
Gambar 9. Proses Pemotongan Pipa *Shell Kondensor*



Gambar 10. Gambar Kerja Proses *Drilling* Penutup *Shell*



Gambar 11. Penutup *Shell* Setelah Pemasangan Komponen



Gambar 12. CAD Kondensor

Setelah semua komponen utama *pressure cooker*, kondensor, dan penyangga kondensor selesai dibuat dan dirakit bersama dengan komponen pendukung lainnya, diperoleh satu kesatuan mesin distilasi ampas kopi skala laboratorium seperti pada Gambar 13. Spesifikasi lengkap mesin yang tercantum pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa mesin ini memiliki ukuran kompak, kapasitas *pressure cooker* 7 liter, tekanan maksimum 2,5 bar, serta kompor listrik dengan daya 300–600 W. Kondensor yang digunakan memiliki kapasitas 3 liter dengan bantuan pompa air bertegangan 220–240 V dan debit 3.200 liter/jam. Dari sisi ekonomi, perincian biaya pembelian komponen pada Tabel 4.8 dan biaya operasional pada Tabel 6 menunjukkan bahwa total biaya pembuatan mesin ini sebesar Rp1.303.400,00. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan harga mesin distilasi komersial, sehingga mengonfirmasi bahwa mesin hasil rancangan ini cukup ekonomis untuk keperluan penelitian skala laboratorium.

**Gambar 13.** Mesin Distilasi Ampas Kopi Skala Laboratorium**Tabel 5.** Spesifikasi Mesin Distilasi

Ukuran Mesin Distilasi	669 x 350 x 590 mm
Kapasitas <i>Pressure cooker</i>	7 Liter
Maksimal <i>Pressure</i>	2,5 Bar
Tegangan Kompor	220 V
Daya Kompor	300 W – 600 W
Kapasitas Kondensor	3 Liter
Tegangan Pompa Kondensor	220-240 V
Daya Pompa Kondensor	38 W
Keluaran Pompa Kondensor	3200 Liter/ Jam

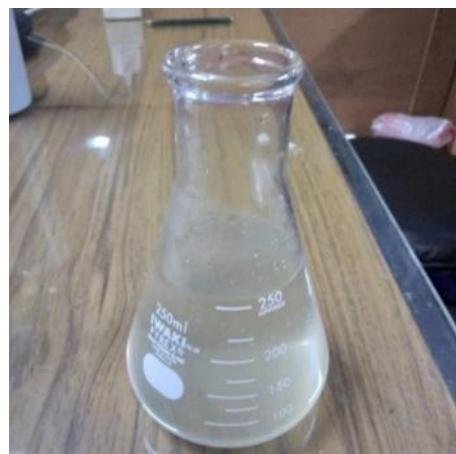
Tabel 6. Biaya Operasional

No	Nama Operasional	Harga (Rupiah)
1	Biaya Operator (Berdasarkan UMR DKI Jakarta 2024)	165.000/Hari
2	Biaya Sewa Mesin Bor Duduk	300.000/Hari
	Total	465.000

Pengujian kinerja mesin distilasi dilakukan dengan beberapa variasi rasio air dan ampas kopi, yaitu 1 liter air : 100 gram ampas kopi campuran (Tabel 7, Gambar 14), 1 liter air : 500 gram ampas kopi campuran (Tabel 8, Gambar 15), dan 500 ml air : 500 gram ampas kopi arabika (Tabel 9, Gambar 16). Setiap pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pancasila dengan pencatatan parameter penting seperti waktu mencapai tekanan 2 bar, temperatur maksimum area boiler dan area material, temperatur hasil distilasi, waktu selesai distilasi, serta total volume distilat yang dihasilkan. Secara umum, mesin mampu mencapai tekanan operasi 2 bar dan mempertahankan proses distilasi hingga menghasilkan volume distilat yang relatif konsisten, yaitu sekitar 500 ml untuk dua pengujian pertama dan sekitar 250 ml untuk pengujian ketiga. Perbedaan hasil ini memberikan dasar untuk analisis lebih lanjut mengenai pengaruh rasio air dan ampas kopi terhadap volume dan kualitas distilat, serta efisiensi proses distilasi secara keseluruhan.

Tabel 7. 1 Liter Air : 100 gram Ampas Kopi Campuran

1 Liter Air : 100 gram Ampas Kopi Campuran	
Tanggal Pengujian	10 Januari 2024
Tempat Pengujian	Lab. Teknik Mesin Universitas Pancasila
Waktu Mulai	08:46
Waktu Tekanan 2 Bar	09:58
Suhu Max Area Boiler	102 °C
Suhu Max Area Material	84 °C
Suhu Hasil Distilasi	34 °C
Waktu Selesai Distilasi	11:00
Hasil Total Distilasi	± 500 ml

**Gambar 14.** Hasil Pengujian Ampas Kopi Campuran Rasio 1 liter : 100 gram

Keberhasilan mesin dalam mencapai kondisi operasi yang direncanakan, menghasilkan distilat dalam jumlah yang memadai, serta mempertahankan biaya pembuatan yang terjangkau menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai secara teknis maupun ekonomis.

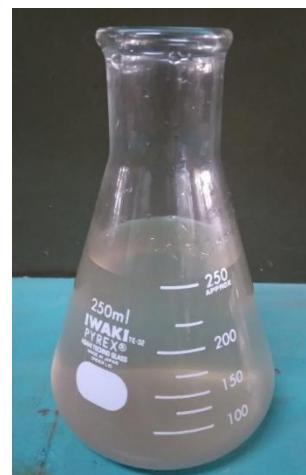
Pada pengujian kedua, distilasi dilakukan dengan rasio 1 liter air dan 500 gram ampas kopi campuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8. Proses dimulai pada pukul 13.10 dan mencapai tekanan 2 bar pada pukul 14.25, dengan suhu maksimum area boiler sebesar 102 °C dan suhu maksimum area material sebesar 84 °C. Suhu hasil distilasi yang keluar dari kondensor tercatat sekitar 34 °C, yang menunjukkan bahwa sistem kondensor bekerja secara efektif dalam menurunkan temperatur uap hingga menjadi cairan distilat. Proses distilasi diakhiri pada pukul 16.10 dengan total waktu operasi kurang lebih 3 jam, dan volume distilat yang dihasilkan sekitar ± 500 ml. Dokumentasi visual hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 15, yang menunjukkan wujud distilat hasil proses distilasi pada rasio 1 liter : 500 gram ampas kopi campuran.

Jika dibandingkan dengan pengujian pertama (1 liter air : 100 gram ampas kopi campuran), volume distilat yang dihasilkan pada pengujian kedua relatif sama, yaitu sekitar 500 ml. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah air awal dan karakteristik sistem pemanas kondensor lebih dominan mempengaruhi volume distilat akhir dibandingkan peningkatan massa ampas kopi pada rentang kondisi operasi yang digunakan. Penambahan massa ampas kopi dari 100 gram menjadi 500 gram tidak secara signifikan menambah volume distilat, tetapi diduga lebih mempengaruhi kandungan senyawa terlarut atau minyak atsiri di dalam distilat (yang tidak dianalisis dalam penelitian ini). Selain itu, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan operasi dan

menyelesaikan proses distilasi relatif sebanding dengan pengujian pertama, yang menunjukkan bahwa sistem masih bekerja stabil meskipun beban material padat yang didistilasi lebih besar.

Tabel 8. 1 Liter Air : 500 gram Ampas Kopi Campuran

1 Liter Air : 500 gram Ampas Kopi Campuran	
Tanggal Pengujian	10 Januari 2024
Tempat Pengujian	Lab. Teknik Mesin Universitas Pancasila
Waktu Mulai	13:10
Waktu Tekanan 2 Bar	14:25
Suhu Max Area Boiler	102 °C
Suhu Max Area Material	84 °C
Suhu Hasil Distilasi	34 °C
Waktu Selesai Distilasi	16:10
Hasil Total Distilasi	± 500 ml

**Gambar 15.** Hasil Pengujian Ampas Kopi Campuran Rasio 1 liter : 500 gram

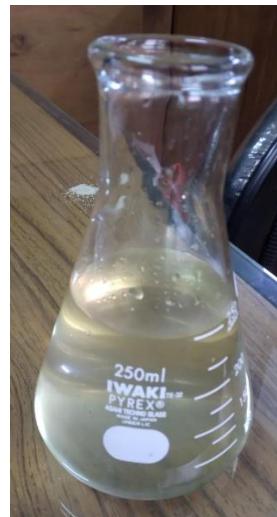
Pengujian ketiga dilakukan dengan menggunakan ampas kopi arabika murni dengan rasio 500 ml air dan 500 gram ampas kopi arabika, sebagaimana disajikan pada Tabel 9. Proses dimulai pada pukul 10.10 dan mencapai tekanan 2 bar pada pukul 11.02. Pada pengujian ini, suhu maksimum area boiler tercatat lebih tinggi yaitu 115 °C, sedangkan suhu maksimum area material sebesar 88 °C. Sama seperti pengujian sebelumnya, suhu hasil distilasi setelah melewati kondensor berada pada kisaran 34 °C, yang menandakan bahwa kondensor tetap mampu mempertahankan kinerjanya pada variasi kondisi operasi ini. Proses distilasi dihentikan pada pukul 12.25 dengan volume distilat yang dihasilkan sekitar ± 250 ml. Hasil visual dari pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 4.24 yang memperlihatkan distilat hasil proses distilasi ampas kopi arabika pada rasio 500 ml air : 500 gram ampas kopi.

Dibandingkan dengan dua pengujian sebelumnya, volume distilat yang dihasilkan pada pengujian ketiga lebih kecil, yaitu sekitar 250 ml. Hal ini konsisten dengan pengurangan volume air awal dari 1 liter menjadi 500 ml, sehingga air yang dapat diuapkan dan dikondensasikan juga berkurang. Selain itu, peningkatan suhu maksimum area boiler hingga 115 °C dan area material hingga 88 °C mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik termal antara ampas kopi arabika murni dengan ampas kopi campuran, baik dari segi struktur pori, kadar air sisa, maupun responnya terhadap pemanasan. Meskipun demikian, tekanan operasi tetap dapat dijaga pada 2 bar dan

temperatur distilat tetap stabil sekitar 34 °C, yang menunjukkan bahwa mesin distilasi mampu bekerja dengan baik pada variasi rasio air dan jenis ampas kopi. Hasil ini menegaskan bahwa mesin yang dirancang cukup fleksibel untuk digunakan pada berbagai komposisi bahan, meskipun volume distilat akan sangat dipengaruhi oleh jumlah air awal dan kondisi operasi yang diterapkan.

Tabel 9. 500 ml air : 500 gram Ampas Kopi Arabika

1 Liter Air : 500 gram Ampas Kopi Campuran	
Tanggal Pengujian	30 Januari 2024
Tempat Pengujian	Lab. Teknik Mesin Universitas Pancasila
Waktu Mulai	10:10
Waktu Tekanan 2 Bar	11.02
Suhu Max Area Boiler	115 °C
Suhu Max Area Material	88 °C
Suhu Hasil Distilasi	34 °C
Waktu Selesai Distilasi	12:25
Hasil Total Distilasi	± 250 ml

**Gambar 16.** Hasil Pengujian Ampas Kopi Arabika Rasio 500 ml : 500 gram

Implikasi Penelitian

Penelitian ini memiliki implikasi praktis dan akademis yang cukup penting, khususnya dalam konteks pemanfaatan limbah ampas kopi sebagai sumber bahan baku bernilai tambah. Secara praktis, rancangan mesin distilasi ampas kopi skala laboratorium yang ekonomis dan relatif mudah dibuat ini dapat dijadikan prototipe atau referensi bagi laboratorium pendidikan, pelaku UMKM, maupun peneliti lain yang ingin mengembangkan teknologi pengolahan limbah biomassa menjadi produk turunan seperti hidrosol atau minyak atsiri. Dari sisi akademis, hasil perancangan dan pengujian yang disertai dengan perhitungan termal, simulasi CFD, serta analisis kinerja mesin memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan penelitian lanjutan, misalnya optimasi desain kondensor, peningkatan efisiensi energi, kajian lebih dalam terhadap hubungan antara kondisi operasi dan kualitas distilat, serta penerapan metode serupa pada jenis biomassa lain di bidang teknik mesin, teknik kimia, maupun rekayasa proses.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Kapasitas mesin yang relatif kecil dan penggunaan satu konfigurasi utama (*pressure cooker* 7 liter dengan satu jenis kondensor) membuat hasil pengujian lebih merepresentasikan kondisi skala laboratorium, sehingga belum dapat digeneralisasi untuk skala industri atau produksi massal. Selain itu, evaluasi kinerja mesin lebih difokuskan pada parameter proses (tekanan, suhu, waktu, dan volume distilat), tanpa disertai analisis laboratorium terhadap komposisi kimia atau kadar minyak atsiri dalam distilat, sehingga kualitas produk belum dapat dinilai secara kuantitatif. Variasi pengujian juga masih terbatas pada beberapa rasio air ampas kopi dan menggunakan satu sumber energi (kompor listrik) dengan rentang daya tertentu. Aspek lain seperti uji ketahanan jangka panjang, kestabilan performa setelah penggunaan berulang, serta pengaruh kondisi lingkungan (misalnya suhu ruang dan variasi debit air pendingin) belum dikaji secara mendalam, sehingga membuka ruang bagi penelitian lanjutan untuk menyempurnakan desain dan memperluas cakupan analisis.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, manufaktur, simulasi, dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa mesin distilasi ampas kopi arabika skala laboratorium yang dirancang dengan pemilihan konsep varian 1 telah memenuhi kriteria fungsional, operasional, dan ekonomis yang ditetapkan. Kombinasi *pressure cooker* yang dimodifikasi, kondensor koil berpendingin air bersirkulasi, serta penyangga kondensor berhasil diwujudkan menjadi satu kesatuan mesin dengan ukuran yang kompak, biaya pembuatan sekitar Rp1.303.400,00, dan proses manufaktur yang relatif sederhana. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa rancangan kondensor mampu menurunkan suhu uap hingga terbentuk fase cair, yang kemudian dikonfirmasi melalui pengujian eksperimental dengan beberapa variasi rasio air dan ampas kopi, dimana mesin mampu mencapai tekanan operasi 2 bar dan menghasilkan distilat sekitar 500 ml untuk rasio 1 liter air : 100 gram dan 1 liter air : 500 gram ampas kopi campuran, serta sekitar 250 ml untuk rasio 500 ml air : 500 gram ampas kopi arabika. Dengan demikian, mesin ini dinyatakan layak digunakan sebagai prototipe alat distilasi skala laboratorium untuk pemanfaatan ampas kopi sebagai bahan baku distilasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik, serta menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua dan keluarga atas doa, dukungan, dan motivasi yang tidak pernah putus. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen pembimbing dan seluruh dosen di lingkungan Program Studi dan Fakultas Teknik Universitas Pancasila yang telah memberikan arahan, ilmu, dan bimbingan selama proses perkuliahan maupun penyusunan tugas akhir. Penghargaan yang tulus juga diberikan kepada pihak Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pancasila atas fasilitas dan bantuan teknis yang diberikan, serta kepada rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung; semoga segala kebaikan yang diberikan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.

Referensi

Andrade, C., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2022). Bioactive Compounds and Antioxidant Activity from Spent Coffee Grounds as a Powerful Approach for its Valorization. *Molecules*,

- 27(21), 7504. <https://doi.org/10.3390/molecules27217504>
- Bahar, A. S., Purnamasari, F., & Niza, A. K. (2025). Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi Menjadi Sabun Batang Bernilai Jual. *Vokatek: Jurnal*, 3(1), 8–14. <https://journal.diginus.id/VOKATEK/article/view/610>
- Diamahesa, W. A., & Muahiddah, N. (2023). Potensi Pemanfaatan Limbah Kulit Ari Kopi (Coffee Husk) dalam perikanan (Review). *Journal of Fish Nutrition*, 3(1), 8–18. <https://doi.org/10.29303/jfn.v3i1.2760>
- Firyanto, R., & Mulyaningsih, S. (2020). Ekstraksi Kopi Robusta Menggunakan Pelarut Heksana dan Etanol Rudi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta, 14 – 15 Juli 2020*, 1–7.
- Hardani, Andriani, H., Utami, E. F., Fardani, R. A., Sukmana, D. J., Auliya, N. H., Ustiawaty, J., & Istiqomah, R. R. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif* (H. Abadi (ed.); Cetakan 1, Issue Maret). CV. Pustaka Ilmu Group Yogyakarta.
- Iryani, D. A., Halimatuzzahra, H., Taharuddin, T., Haryanto, A., Hidayat, W., & Hasanudin, U. (2023). Physicochemical Characterization of Wood Mixed with Coffee Waste Pellet. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1187(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1187/1/012007>
- Nosek, R., Tun, M. M., & Juchelkova, D. (2020). Energy Utilization of Spent Coffee Grounds in the Form of Pellets. *Energies*, 13(5), 1235. <https://doi.org/10.3390/en13051235>
- Pagalla, D. B. (2024). *Ekstrasi Bahan Alam*. CV Gita Lentera Redaksi. https://www.researchgate.net/publication/381613640_BUKU_ISBN_EKSTRAKSI_BAHAN_ALAM
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering Design A Systematic Approach*. Wolfgang Beitz.
- Rahasbistara, M. R. W., & Melani, N. K. L. S. (2024). Review: Pengaruh Efektivitas Ekstrak Kopi Arabika Sebagai Antioksidan Dan Bentuk Sediaan Farmakologi. *AL-MIKRAJ Jurnal Studi Islam Dan Humaniora (E-ISSN 2745-4584)*, 5(01), 585–595. <https://doi.org/10.37680/almikraj.v5i01.6073>
- Rochmah, H. F., Kresnanda, A. S., & Asyidiq, M. L. (2021). Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi Sebagai Upaya Pemberdayaan Petani Kopi di CV Frinsa Agrolestari, Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Sains Terapan*, 11(2), 60–69. <https://doi.org/10.29244/jstsv.11.2.60-69>
- Siregar, P. (2023). *Kopi dan Keberlanjutan Lingkungan: Memelihara Biji Kopi dan Melindungi Bumi*. Indonesia Speciality Coffee. <https://specialtycoffee.id/id/articles/coffee-and-environmental-sustainability-nurturing-bean-protecting-planet/>