

Desain Rancang Bangun Ketel Uap Alat Destilasi Minyak Atsiri

Laode Putu Mahardhika, Hendi Saryanto

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Dan Informatika
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

Jl. Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur, Indonesia
Telp (021) 8400941, Fax (021) 87782739

Website: www.ftii.uhamka.ac.id/ , E-mail: ftii@uhamka.ac.id, laodepm@gmail.com

Abstrak

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan minyak atsiri karena kekayaan sumber daya alamnya yang melimpah. Namun, sebagian besar proses penyulingan minyak atsiri di Indonesia masih menggunakan ketel uap konvensional berbahan bakar kayu atau biomassa yang memiliki efisiensi rendah dan menghasilkan emisi tinggi. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan desain dan realisasi rancang bangun ketel uap minyak atsiri berbasis pemanas induksi sebagai alternatif teknologi ramah lingkungan. Metode penelitian ini mencakup tahap perancangan konseptual, pemilihan material, dan proses pembuatan alat dengan mengacu pada ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section IV dan B31.4. Penelitian ini difokuskan pada tahap desain dan pembuatan alat, sedangkan analisis kinerja termal akan dilakukan pada penelitian lanjutan, dan tahap verifikasi fungsional direncanakan dilakukan setelah alat selesai dibuat. Melalui pendekatan ini, diharapkan dihasilkan prototipe ketel uap yang efisien, aman, dan mudah diterapkan pada proses destilasi minyak atsiri. Hasil perancangan ini juga diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengembangan teknologi pemanas induksi di sektor industri kecil-menengah di Indonesia.

Kata Kunci: Minyak Atsiri, Ketel Uap, Pemanas Induksi, Rancang Bangun, Teknologi Ramah Lingkungan.

Abstract

Indonesia has great potential in the development of essential oils due to its abundant natural resources. However, most essential oil distillation processes in Indonesia still rely on conventional steam boilers fueled by wood or biomass, which have low thermal efficiency and produce high emissions. This research focuses on the design development and fabrication of an induction-based steam boiler as an environmentally friendly alternative for essential oil distillation. The study involves conceptual design, material selection, and fabrication processes based on the ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section IV and B31.4 standards. This research focuses on the design and manufacturing stages of the tool, while thermal performance analysis will be carried out in further research., and the functional verification stage is planned to be carried out after the boiler fabrication is completed. Through this approach, the developed prototype is expected to be efficient, safe, and practical for essential oil distillation. The outcome of this design is also expected to serve as a reference for future development of induction heating technology in small- and medium-scale essential oil industries in Indonesia.

Keywords: Essential Oil, Steam Boiler, Induction Heating, Design Development, Environmentally Friendly Technology.

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan minyak atsiri karena kekayaan sumber daya alamnya yang melimpah. Tanaman seperti nilam (*Pogostemon cablin*), serai wangi, dan kayu putih telah menjadi komoditas unggulan dengan nilai ekonomi tinggi di industri parfum, kosmetik, dan farmasi [1]. Meski demikian, sebagian besar proses penyulingan minyak atsiri di Indonesia masih

menggunakan teknologi konvensional dengan boiler berbahan bakar kayu atau biomassa.

Sistem tradisional ini memiliki efisiensi panas yang rendah—umumnya hanya 25–30%—dan menghasilkan emisi gas buang yang mencemari lingkungan [2]. Selain itu, pengendalian suhu dan tekanan yang tidak stabil sering menurunkan kualitas minyak. Karena itu, dibutuhkan teknologi pemanas alternatif yang lebih efisien, bersih, dan mudah dikendalikan.

Teknologi pemanas induksi (induction heating) menjadi solusi potensial karena dapat menghasilkan panas melalui arus eddy tanpa pembakaran bahan bakar. Sistem ini tidak menimbulkan emisi langsung dan memungkinkan pengaturan suhu yang presisi [3]. Penerapan metode ini pada proses destilasi terbukti dapat meningkatkan efisiensi energi serta menjaga mutu minyak atsiri.

Hasil penelitian terbaru menunjukkan bahwa inovasi sistem destilasi, seperti penggunaan sirkulasi uap dan air berulang, dapat meningkatkan hasil hingga 53,7% dan mengurangi konsumsi energi hingga 40% [4]. Inovasi serupa sangat relevan diterapkan di wilayah pesisir selatan Padang, yang merupakan salah satu sentra penghasil nilam terbesar di Sumatera Barat. Melalui penerapan ketel uap berbasis pemanas induksi, proses penyulingan diharapkan menjadi lebih efisien, ramah lingkungan, dan meningkatkan nilai ekonomi produk lokal [5].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun ketel uap berbasis pemanas induksi untuk alat destilasi minyak atsiri. Inovasi ini diharapkan dapat menjadi teknologi tepat guna yang hemat energi, aman, serta mendukung peningkatan produktivitas dan keberlanjutan industri minyak atsiri di Indonesia. Penelitian ini tidak membahas perhitungan kinerja termal, analisis perpindahan panas, dan evaluasi efisiensi energi secara kuantitatif. Aspek tersebut akan dilakukan pada penelitian lanjutan setelah ketel uap berfungsi penuh dan siap diuji secara operasional. Dengan demikian, ruang lingkup penelitian ini berada pada tahap desain konseptual, pemilihan material, serta pembuatan fisik ketel uap.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Ketel Uap

Ketel uap atau boiler merupakan sistem konversi energi yang bekerja dengan memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar untuk ditransfer ke aliran air. Panas tersebut digunakan untuk menghasilkan air panas atau uap, yang kemudian dimanfaatkan dalam berbagai keperluan seperti proses

industri, sistem pemanas, maupun pembangkit listrik melalui penggerak turbin [6].

Menurut [4], ketel uap dikategorikan menjadi dua jenis utama berdasarkan mekanisme perpindahan panasnya, yaitu pirotubular (fire-tube) dan akuatubular (water-tube).

a. boiler pirotubular

pada jenis ini, gas panas hasil pembakaran mengalir melalui pipa-pipa sedangkan air berada di dalam bejana. Jenis ini banyak digunakan untuk kapasitas kecil dan tekanan rendah.

b. Akuatubular

Pada jenis ini, air mengalir di dalam pipa-pipa sementara gas panas mengalir di sekitar pipa tersebut. Boiler jenis ini mampu menghasilkan uap dengan tekanan tinggi dan kapasitas besar.

Boiler bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi, di mana panas dari sumber pemanas berpindah melalui dinding logam menuju fluida di dalamnya. Dalam konteks penelitian ini, sumber panas berasal dari pemanas induksi elektromagnetik yang menggantikan pembakaran bahan bakar konvensional sehingga tidak menghasilkan emisi langsung.

2.2 Ekstraksi Minyak Atsiri

Destilasi air dan uap merupakan salah satu teknik yang paling banyak diterapkan dalam industri pengolahan minyak atsiri karena dianggap efisien dan mampu menjaga kualitas komponen aromatik yang dihasilkan. Metode ini secara umum terbagi menjadi tiga jenis utama, yaitu destilasi uap langsung, destilasi hidro (hidrodestilasi), dan destilasi uap kering.

Pada destilasi uap langsung, prosesnya melibatkan pengaliran uap jenuh langsung ke dalam bahan tanaman yang akan disuling. Uap tersebut berfungsi untuk memecah dinding sel tanaman dan membawa serta komponen volatil atau senyawa aromatik yang terkandung di dalamnya. Campuran uap air dan minyak atsiri yang dihasilkan kemudian dikondensasikan melalui sistem pendingin, sehingga terbentuk dua lapisan cairan: air dan minyak atsiri murni yang dapat dipisahkan dengan mudah.

Sementara itu, pada destilasi hidro, bahan tanaman ditempatkan langsung di dalam air mendidih. Proses ini memungkinkan kontak langsung antara air dan bahan, sehingga panas dari air membantu melepaskan senyawa minyak atsiri dari jaringan tanaman. Namun, metode ini perlu dilakukan dengan hati-hati

karena pemanasan berlebihan dapat merusak komponen kimia yang sensitif terhadap suhu tinggi.

Adapun destilasi uap kering dilakukan dengan menghasilkan uap di luar wadah utama penyulingan. Uap tersebut kemudian dialirkan ke dalam ruang yang berisi bahan tanaman tanpa adanya kontak langsung dengan air. Cara ini sangat efektif untuk bahan-bahan yang mudah rusak oleh air atau yang mengandung minyak atsiri dalam jumlah kecil, karena uap panas yang masuk dapat menembus jaringan tanaman dan menguapkan minyak atsirinya secara perlahan tanpa mengubah sifat aromatik alaminya.

Secara keseluruhan, ketiga metode tersebut memiliki prinsip yang sama yakni memanfaatkan uap panas untuk mengekstraksi minyak atsiri, namun perbedaannya terletak pada cara uap berinteraksi dengan bahan tanaman, tingkat efisiensi, serta kesesuaian terhadap karakteristik bahan yang digunakan [4].

2.3 Pemilihan Material

Pemilihan material merupakan tahap krusial dalam proses perancangan ketel uap karena berpengaruh langsung terhadap keamanan, keandalan, dan efisiensi alat. Material yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, tekanan, serta sifat korosif uap air, tanpa menimbulkan kontaminasi terhadap fluida di dalam sistem.

Pada rancangan ketel uap berbasis pemanas induksi untuk proses destilasi minyak atsiri, digunakan dua jenis material utama, yaitu Stainless Steel 304 pada bagian kerucut bawah sebagai ruang pembentukan uap, dan aluminium pada bagian kerucut atas sebagai ruang distribusi uap panas. Kedua material ini dipilih karena kombinasi ketahanan termal, konduktivitas panas, dan kemudahan fabrikasinya yang sesuai dengan kebutuhan alat.

2.3.1 Stainless Steel 304

Bagian kerucut bawah boiler berfungsi sebagai ruang pemanas air yang menghasilkan uap jenuh untuk proses destilasi minyak atsiri. Pada sistem ini, air di dalam boiler dipanaskan hingga menghasilkan uap bersih, lalu uap tersebut dialirkan menuju ruang distilasi yang berisi bahan tanaman. Dengan demikian, tidak ada kontak langsung antara air pemanas dan bahan minyak atsiri. Untuk mendukung proses ini, digunakan Stainless Steel tipe 304 (SS304) sebagai bahan utama.

Material ini memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi dan oksidasi, serta stabilitas mekanik yang baik pada suhu tinggi. Lapisan pelindung alami yang terbentuk dari kandungan kromium (18%) dan nikel (8%) mampu mencegah terjadinya karat akibat paparan uap panas dan air bertekanan. Menurut [7], penggunaan SS304 pada sistem pemanas cairan dan bejana tekan memberikan kinerja optimal karena sifatnya food grade, non-reaktif, serta mudah difabrikasi. Hal ini penting untuk menjamin uap yang dihasilkan tetap murni dan tidak terkontaminasi oleh unsur logam lain.

Selain itu, hasil penelitian [8] menunjukkan bahwa stainless steel sangat efektif untuk peralatan pangan maupun termal karena tahan terhadap suhu ekstrim, mudah dibersihkan, dan memiliki umur pakai panjang. Sifat-sifat tersebut juga menjadikannya pilihan tepat untuk boiler yang bekerja dalam kondisi siklus pemanasan berulang.

Dari segi keamanan dan perawatan, SS304 tidak hanya memberikan ketahanan terhadap korosi air panas, tetapi juga memastikan bahwa uap yang dihasilkan bebas kontaminan, sehingga mendukung kualitas hasil minyak atsiri yang dihasilkan.

Dengan berbagai keunggulan tersebut, pemilihan Stainless Steel 304 pada bagian kerucut bawah boiler didasarkan pada:

- Ketahanan terhadap korosi air panas dan tekanan uap.
- Tidak bereaksi dengan fluida murni (air distilasi).
- Stabil pada suhu kerja hingga di atas 400°C.
- Aman, higienis, serta mudah dilas dan dirawat.

Berdasarkan pertimbangan fungsional dan hasil penelitian terdahulu, Stainless Steel 304 dipilih karena mampu mempertahankan kemurnian uap, memberikan ketahanan tinggi terhadap suhu dan tekanan, serta mendukung sistem operasi yang efisien dan aman [7].

2.3.2 Aluminium

Bagian kerucut atas boiler berfungsi sebagai ruang distribusi uap yang menyalurkan panas ke sistem distilasi. Karena area ini tidak mengalami tekanan tinggi, tetapi membutuhkan transfer panas yang cepat dan merata, maka digunakan material dengan konduktivitas termal tinggi yaitu aluminium.

Menurut [9], aluminium memiliki kemampuan menyerap dan menyalurkan panas

secara efisien melalui mekanisme konduksi dan konveksi, sehingga ideal untuk aplikasi yang melibatkan pemanasan fluida.

Sementara itu,[10] melaporkan bahwa aluminium mempunyai konduktivitas termal sebesar 237 W/m·K dan koefisien Seebeck positif sebesar 0,005845 V/K, menunjukkan bahwa material ini sangat efisien dalam memindahkan panas dan mempertahankan kestabilan suhu.

Dalam konteks ketel uap, penggunaan aluminium pada bagian atas boiler memberikan beberapa keuntungan:

- Konduktivitas panas tinggi yang mempercepat proses pembentukan dan penyaluran uap.
- Bobot ringan, sehingga mempermudah pemasangan dan perawatan alat.
- Ketahanan korosi cukup baik pada suhu operasi distilasi (100–150°C).
- Tidak menimbulkan reaksi dengan uap atau senyawa volatil minyak atsiri.

Berdasarkan karakteristik tersebut, aluminium dipilih karena mampu mendukung efisiensi perpindahan panas dan menjaga distribusi uap tetap stabil selama proses destilasi berlangsung [9]; [10].

2.3.3 Pemilihan Material Berdasarkan Standar ASME (American Society Of Mechanical Engineering)

[11] memberikan daftar material yang disetujui (ASME Approved Materials List) untuk pembuatan bejana tekan. Dalam desain ini digunakan:

- Stainless Steel 304 (SS304)** pada bagian kerucut bawah boiler, karena tahan korosi, mampu menahan suhu hingga $\pm 500^{\circ}\text{C}$, dan termasuk dalam material yang diizinkan oleh ASME untuk aplikasi bejana tekan.
- Aluminium** pada bagian kerucut atas, karena berfungsi menyalurkan panas dan tidak secara langsung menahan tekanan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi termal.

Kedua material ini juga sesuai dengan prinsip ramah lingkungan dan mudah difabrikasi, sesuai arah pengembangan alat berbasis induksi yang diusulkan dalam penelitian ini. Desain material mengikuti ASME Boiler and Pressure Vessel Code, di mana SS304 termasuk material yang diperbolehkan untuk bejana tekan, sementara aluminium sesuai untuk bagian non-tekanan yang berfungsi sebagai media transfer panas.

2.4 Pemanas Induksi

2.4.1 Prinsip Dasar Pemanasan Induksi

Pemanasan induksi merupakan metode pemanasan modern yang memanfaatkan medan elektromagnetik untuk menaikkan suhu material konduktif tanpa adanya kontak langsung antara sumber panas dan benda kerja. Prinsip kerja sistem ini didasarkan pada Hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik dan Hukum Foucault mengenai pembentukan arus pusar (eddy current). Ketika arus bolak-balik dialirkan ke dalam kumparan, timbul medan magnet yang berubah-ubah di sekitar kumparan tersebut. Medan ini kemudian menimbulkan arus induksi di dalam material logam yang berada di sekitarnya, dan energi listrik yang dihasilkan akan berubah menjadi panas akibat resistansi internal logam [12].

Dibandingkan dengan sistem pemanas berbasis pembakaran atau elemen resistif, metode induksi jauh lebih efisien dan aman karena tidak membutuhkan kontak langsung dengan media cair atau gas yang dipanaskan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa sistem ini dapat mencapai efisiensi termal mendekati 100% karena seluruh energi listrik yang masuk dikonversi langsung menjadi energi panas [12]. Dengan tidak adanya proses pembakaran, teknologi ini juga bebas emisi karbon dan ramah lingkungan.

2.4.2 Mekanisme Kerja Pemanasan Induksi

Proses pemanasan terjadi ketika arus listrik berganti arah (AC) mengalir pada kumparan induktor. Arus ini menimbulkan medan magnet bolak-balik yang menginduksi arus pusar di dalam material logam. Arus pusar tersebut menghasilkan panas akibat efek Joule ($Q = I^2R$), di mana besarnya panas tergantung pada kuat arus dan resistansi material. Efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh frekuensi arus, karakteristik magnetik material (permeabilitas dan konduktivitas), desain kumparan, serta jarak antara kumparan dan benda kerja [13].

2.4.3 Efisiensi Dan Keunggulan Sistem Pemanas Induksi

Pemanas induksi memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan sistem konvensional, antara lain:

- Efisiensi energi tinggi: proses konversi energi listrik menjadi panas berlangsung langsung di dalam material, sehingga kehilangan panas

akibat konduksi dan konveksi sangat kecil. Efisiensi sistem dapat mencapai 90–100% [12]; [14].

- b) Respon cepat dan stabil: pemanasan dapat dilakukan dengan waktu singkat dan pengendalian suhu yang presisi.
- c) Ramah lingkungan: tidak menghasilkan emisi gas buang karena tidak ada proses pembakaran bahan bakar fosil.
- d) Biaya perawatan rendah: tidak memerlukan elemen pemanas yang terpapar langsung pada fluida atau udara panas, sehingga umur pakai sistem lebih panjang [12].

Menurut hasil studi oleh [14], penerapan boiler induksi mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas hingga 30% dibandingkan pemanas resistif konvensional. Hal tersebut terjadi karena panas dihasilkan langsung pada dinding bejana logam ferromagnetik, sehingga kehilangan energi akibat media perantara dapat diminimalkan.

2.4.4 Penerapan Pemanas Induksi Pada Ketel Uap

Dalam penelitian ini, prinsip pemanasan induksi dimanfaatkan untuk merancang ketel uap minyak atsiri. Pemanas induksi bekerja dengan memanaskan dinding ketel logam yang berfungsi sebagai media konduktor panas. Energi panas tersebut diteruskan ke air di dalam bejana sehingga terbentuk uap tanpa menggunakan elemen pemanas konvensional. Proses ini mempercepat pembentukan uap, mengurangi risiko kebocoran listrik, serta menekan potensi bahaya ledakan akibat pembakaran gas [14].

[12] melaporkan bahwa sistem pemanas induksi generasi terbaru mampu menghasilkan uap super panas hingga 1000°C dengan efisiensi di atas 90%. Teknologi ini dinilai sangat sesuai untuk ketel uap skala laboratorium atau industri kecil seperti penyulingan minyak atsiri, karena hemat energi, tidak mencemari lingkungan, dan mudah dikendalikan.

2.4.5 Pengaruh Parameter Operasi Terhadap Proses Pemanasan Induksi

Beberapa parameter yang menentukan kinerja sistem induksi antara lain:

- a) **Frekuensi arus listrik**, semakin tinggi frekuensi, semakin dangkal penetrasi medan magnet sehingga panas lebih terfokus di permukaan.

- b) **Sifat material logam**, permeabilitas dan konduktivitas tinggi mempercepat laju pemanasan.
- c) **Desain dan posisi kumparan**, jarak serta orientasi kumparan mempengaruhi homogenitas distribusi temperatur [13].
- d) **Kerapatan arus dan tegangan input**, semakin besar arus yang dialirkan, semakin cepat peningkatan suhu hingga titik jenuh material tercapai.

Simulasi numerik tiga dimensi berbasis metode elemen hingga (finite element method) yang dilakukan oleh [13] menunjukkan bahwa skema longitudinal flux heating (LFH) memberikan penyebaran panas yang lebih seragam dibandingkan transverse flux heating (TFH), di mana TFH cenderung menimbulkan efek panas berlebih pada bagian tepi material (edge effect).

3. METODE PERANCANGAN

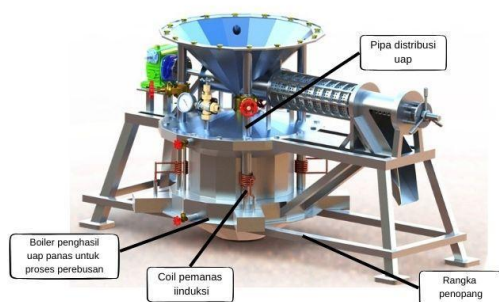
3.1 Diagram Alur Perancangan

Tahapan penelitian ini disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan perancangan dan pembuatan alat ketel uap berbasis pemanas induksi. Alur kegiatan meliputi :



Analisis performa mendalam tidak dilakukan pada tahap ini dan akan dilanjutkan setelah ketel uap siap diuji secara operasional

3.2 Desain Rancang Bangun Ketel Uap



Gambar 1 Desain Ketel Uap

Rancang bangun ketel uap ini dirancang untuk mendukung proses distilasi minyak atsiri secara efisien dan ramah lingkungan. Desain Gambar 1 terdiri dari beberapa bagian utama:

1. Kerucut Bawah (Stainless steel 304)

Berfungsi sebagai ruang pemanas air. Material stainless steel dipilih karena tahan terhadap suhu tinggi dan tidak mudah berkarat.

2. Kerucut Atas (Aluminium)

Berfungsi sebagai ruang pengumpulan uap, aluminium mempunyai konduktivitas panas tinggi dan ringan.

3. Pemanas Induksi

Sumber panas utama untuk menghasilkan arus eddy untuk memanaskan bagian bawah benjana.

4. Rangka Penopang

Menopang struktur ketel uap dan menjaga kestabilan alat saat beroperasi.

5. Pipa Distribusi Uap

Menyalurkan uap dari boiler ke alat destilasi.

6. Perlengkapan dan keselamatan

Terdiri dari katup pengaman, manometer, dan katup pelepas tekanan.

3.3 Proses Fabrikasi

Tahapan pembuatan alat dilakukan dengan langkah - langkah sebagai berikut :

1. Pemotongan Dan Pembentukan Plat. Plat SS 304 dan aluminium dipotong sesuai bentuk kerucut yang dirancang (berdasarkan gambar teknik).



Gambar 2 Pemotongan Dan Pembentukan Plat

2. Pengelasan Dan Penyambungan Menggunakan metode pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) agar sambungan rapi dan kuat tanpa oksidasi berlebih.



Gambar 3 Pengelasan TIG

3. Pemasangan Komponen Tambahan Seperti pipa keluaran uap, katup.
4. Perakitan Akhir, Semua komponen dirangkai menjadi satu unit.

3.4 Pengujian Fungsional

Pengujian akan dilakukan untuk memastikan sistem bekerja sesuai rancangan. Pengujian Meliputi :

- a) Menyalakan pemanas induksi dan mengamati pembentukan uap.
- b) Memastikan tekanan uap stabil dan tidak terjadi kebocoran.
- c) Memastikan seluruh sambungan mekanik dan katup berfungsi dengan baik.

Tahap ini belum menilai efisiensi energi, waktu pendidihan, atau parameter kuantitatif lainnya karena pengujian tersebut akan dilakukan setelah sistem siap operasi penuh.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Penelitian ini menghasilkan rancang bangun ketel uap berbasis pemanas induksi elektromagnetik yang diperuntukkan bagi proses distilasi minyak atsiri oleh petani atau pelaku industri kecil. Rancang bangun ini disusun sebagai solusi terhadap penggunaan ketel uap berbahan bakar biomassa yang memiliki efisiensi rendah dan menghasilkan emisi tinggi [2].

Desain alat mengacu pada prinsip efisiensi energi dan ramah lingkungan, dengan penerapan teknologi pemanas induksi sebagai sumber panas utama. Secara struktural, ketel uap ini terdiri dari beberapa bagian utama sebagai berikut :

1. Kerucut bawah (Stainless Steel 304)

Bagian ini berfungsi sebagai ruang pemanas air untuk menghasilkan uap. Material SS 304 dipilih karena ketahanannya terhadap suhu tinggi, korosi, serta termasuk dalam daftar material yang diizinkan oleh ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) untuk bejana tekan [11].

2. Kerucut atas (Aluminium)

Berfungsi sebagai ruang distribusi uap panas. Material aluminium dipilih karena memiliki konduktivitas panas tinggi dan bobot ringan, sehingga mempercepat proses perpindahan panas[9] ; [10].

3. Pemanas induksi

Sistem pemanas induksi menghasilkan panas melalui arus pusar (eddy current) yang terbentuk di dinding logam konduktif. Metode ini menghasilkan pemanasan cepat, bersih, dan

efisien karena tidak melibatkan pembakaran langsung [12]; [14].

4. Rangka penopang dan perlengkapan keselamatan

Struktur rangka digunakan untuk menopang keseluruhan komponen ketel, dilengkapi dengan katup pengaman, manometer, dan saluran pelepas tekanan untuk menjamin keselamatan kerja.

4.2 Hasil Pembuatan dan Perakitan



Hingga tahap akhir penelitian ini, alat telah selesai dirakit namun belum dioperasikan karena masih dalam tahap penyempurnaan sistem kelistrikan pemanas induksi dan verifikasi kelayakan teknis awal. Seperti yang tertera pada Gambar 4.

Dengan demikian, tahap penelitian berhenti pada perampungan fisik alat, sementara uji fungsional dan operasional akan dilakukan pada tahap penelitian berikutnya.

4.3 Kondisi Kesiapan Alat



Gambar 5 Penerapan Ketel Uap

Berdasarkan hasil pemeriksaan akhir, ketel uap telah memenuhi rancangan fisik sesuai

gambar teknik, namun sistem belum dapat dioperasikan sepenuhnya karena:

1. **Pemanas induksi belum diuji beban** (uji panas dan efisiensi belum dilakukan).
2. **Koneksi sistem kontrol suhu dan daya listrik** masih dalam tahap penyetelan.
3. **Belum dilakukan uji tekanan dan kebocoran bertekanan tinggi** untuk memastikan keamanan operasi.

Meskipun belum dioperasikan, rancang bangun pada Gambar 4 dinilai **layak secara konstruktif** dan siap diuji pada tahap selanjutnya.

4.4 Pembahasan Singkat

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan desain ketel uap berbasis pemanas induksi memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi pemanasan dan mengurangi emisi dibandingkan sistem berbahan bakar kayu [1]; [4].

Namun demikian, karena alat belum dioperasikan, analisis performa dan efisiensi energi belum dilakukan. Fokus penelitian ini terbatas pada rancang bangun fisik dan kesiapan struktur alat. Hasil rancang bangun ini sejalan dengan perkembangan teknologi distilasi minyak atsiri modern, yang menekankan efisiensi energi dan kontrol suhu yang stabil [3].

4.5 Arah Pengembangan Penelitian Selanjutnya

Penelitian lanjutan direkomendasikan untuk:

1. Melakukan uji fungsional dan operasional penuh guna mengetahui kinerja pemanas induksi terhadap laju pembentukan uap dan kestabilan suhu.
2. Menganalisis efisiensi energi serta pengaruh parameter operasi (daya listrik, frekuensi, dan desain kumparan) terhadap performa sistem.
3. Mengintegrasikan panel surya dan turbin angin sebagai sumber energi terbarukan untuk mensuplai listrik pemanas induksi melalui sistem penyimpanan dan konversi daya diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sistem, mengurangi

ketergantungan pada listrik konvensional, dan mendukung pengoperasian boiler yang ramah lingkungan serta berkelanjutan.

4. Melakukan kajian termal dan simulasi numerik mendalam agar diperoleh model prediksi distribusi panas dan tekanan dalam ketel.

Dengan pengembangan tersebut, alat ini diharapkan dapat menjadi sistem boiler induksi tenaga surya yang efisien, aman, dan berdaya guna bagi masyarakat petani penghasil minyak atsiri.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan tahapan perancangan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rancang bangun ketel uap berbasis pemanas induksi elektromagnetik untuk proses distilasi minyak atsiri telah berhasil diselesaikan hingga tahap akhir perakitan. Alat ini dirancang menggunakan material utama Stainless Steel 304 pada bagian kerucut bawah sebagai ruang pemanas air dan aluminium pada bagian kerucut atas sebagai ruang distribusi uap. Pemanas induksi digunakan sebagai sumber panas utama yang bekerja berdasarkan prinsip arus pusar (eddy current) untuk menghasilkan energi panas tanpa proses pembakaran langsung. Pemilihan material serta konsep desain alat telah disesuaikan dengan standar ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), sehingga alat ini memenuhi aspek keamanan, ketahanan, dan kemudahan fabrikasi.

Hasil akhir menunjukkan bahwa alat telah selesai dirakit secara keseluruhan, namun analisis performa termal belum dilakukan karena memerlukan ketel uap yang siap diuji secara penuh. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan tahap awal dari rangkaian penelitian terintegrasi. Meskipun demikian, secara konstruktif alat ini telah siap digunakan dan dinilai layak untuk tahap pengujian selanjutnya. Dengan penerapan sistem pemanas induksi, alat ini diharapkan dapat menjadi alternatif teknologi pemanas yang lebih efisien, aman, dan ramah lingkungan dibandingkan boiler

konvensional berbahan bakar kayu atau biomassa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh, disarankan agar penelitian selanjutnya difokuskan pada tahap pengujian fungsional dan operasional untuk mengetahui performa pemanas induksi terhadap laju pembentukan uap dan kestabilan suhu selama proses distilasi berlangsung. Selain itu, perlu dilakukan analisis efisiensi energi serta kajian termal yang lebih mendalam, baik secara eksperimental maupun simulatif, guna menentukan efektivitas sistem secara kuantitatif. Penelitian lanjutan juga diharapkan dapat mengintegrasikan sumber energi panel surya sebagai satu daya utama bagi sistem pemanas induksi agar tercipta alat yang lebih hemat energi, mandiri, dan ramah lingkungan. Pengembangan ke arah ini akan mendukung terwujudnya sistem ketel uap induksi tenaga surya yang efisien, berkelanjutan, serta mampu meningkatkan produktivitas dan kualitas minyak atsiri di tingkat petani dan industri kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. A. Tosta Machado, K. V. Saraiva Hodel, H. A. Lepikson, and B. A. Souza Machado, "Distillation of essential oils: An innovative technological approach focused on productivity, quality and sustainability," *PLoS One*, vol. 19, no. 2 February, Feb. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0299502.
- [2] E. Shobari, "Analisis Kerja Mesin Distilasi dan Efisiensi Boiler pada Pengolahan Minyak Kayu Putih Perum Perhutani Majalengka," *Industrial Research Workshop and National Semiinar*, vol. 10, no. 1, p. 2, 2019.
- [3] K. Youcef-Ettoumi, Y. Zouambia, and N. Moulai-Mostefa, "Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of Algerian Citrus sinensis essential oil extracted by hydrodistillation assisted by electromagnetic induction heating," *J Food Sci Technol*, vol. 58, no. 8, pp. 3049–3055, 2021, doi: 10.1007/s13197-020-04808-5.
- [4] N. Pipatpaiboon, T. Parametthanuwat, N. Bhuwakietkumjohn, Y. Ding, Y. Li, and S. Sichamnan, "Improving the Efficiency of Essential Oil Distillation via Recurrent Water and Steam Distillation: Application of a 500-L Prototype Distillation Machine and Different Raw Material Packing Grids," *AgriEngineering*, vol. 7, no. 6, 2025, doi: 10.3390/agriengineering7060175.
- [5] S. Hongthong, W. Nisapai, S. Wongcharee, and P. Soythong, "Investigating the essential oil production from agricultural food waste: A case study Chaiphaphum province, Thailand," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 12, no. July, p. 101286, 2025, doi: 10.1016/j.cscee.2025.101286.
- [6] C. D. Mojica-Cabeza, C. E. García-Sánchez, R. Silva-Rodríguez, and L. García-Sánchez, "A review of the different boiler efficiency calculation and modeling methodologies," *Informador Técnico*, vol. 86, no. 1, pp. 53–77, 2021, doi: 10.23850/22565035.3697.
- [7] Rizki nugraha Gilang, Abdillah Hamid, and Irawan Bambang, "Analisis Penggunaan Stainless Steel 304 Pada Mesin Heating Tank Di PT Pachira Distrinusa," *Journal Of Social Science Research*, vol. 4, pp. 7823–7830, 2024.
- [8] M. A. Fitrah, M. Taufiq Thahir, and H. H. Utami, "Pengenalan Teknologi Tepat Guna: Pemilihan Bahan Stainless Steel dalam Pembuatan Alat Pangan untuk Meningkatkan Keamanan dan Kualitas Produk," *Akselerasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 2, no. 2, pp. 130–135, 2024, doi: 10.70210/ajpm.v2i2.82.
- [9] D. O. Topayung, S. D. Boedi, J. M. Mawa, D. P. Hosang, M. P. Y. Kawulur, and A. Pot, "Analisis Perpindahan Kalor Pada Air Yang Dipanaskan Dalam Panci Aluminium," *Jurnal Masina Nipake*, vol. 4, no. 2, pp. 96–101, 2024.
- [10] R. Rizaldi and L. Edahwati, "Analisa Termoelektrik Generator Dan Motor DC + Kipas Dengan Perbedaan Alas Konduktor Dari Sumber Energi

- Panas,” *Jurnal Flywheel*, vol. 13, no. 2, pp. 14–22, 2022, doi: 10.36040/flywheel.v13i2.5853.
- [11] S. ASME, “Boiler and Pressure Vessel Code, An International Code BPVC17,” *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, p. 25, 2017.
- [12] A. Kelesoglu, N. Kanmaz, H. M. Unver, and U. Unver, “A review on the evolution of induction fluid heaters,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, vol. 44, no. 3, pp. 7949–7966, 2022, doi: 10.1080/15567036.2022.2118906.
- [13] S. Friedrich *et al.*, “Heating schemes and process parameters of induction heating of aluminium sheets for hot stamping,” *Manuf Rev (Les Ulis)*, vol. 6, 2019, doi: 10.1051/mfreview/2019013.
- [14] K. A. Pandian, M. Balasingam, and R. Dhanush, “DESIGN OF ELECTRIC INDUCTION STEAM BOILER,” *INTERNATIONAL JOURNAL OF PROGRESSIVE RESEARCH IN ENGINEERING MANAGEMENT AND SCIENCE (IJPREMS)*, pp. 573–576, 2025.