

Rancang Bangun Boiler Vertikal Pipa Api Kapasitas 100 Kg/Jam

Beni Syahputra¹, Khairuddin Syah², Abdul Gafur³

Politeknik Negeri Bengkalis

Benisyahputra@gmail.com¹, khairuddinsyah@polbeng.ac.id², abdulgafur@polbeng.ac.id³

Abstract

Increasing productivity in small-scale tofu industries in Indonesia heavily relies on the efficiency of the soybean boiling process, which is commonly conducted using conventional wood-fired methods. This study aims to design and develop a vertical fire-tube boiler capable of producing 100 liters of steam per hour to expedite the soybean cooking process in tofu production. The research methodology includes the design and construction of the boiler at Politeknik Negeri Bengkalis, performance testing, and analysis of heating efficiency. The boiler was constructed with a fire-tube and economizer combination designed according to ASME V and VI standards, using stainless steel to enhance durability. Testing indicated that the boiler could reach 100°C within 30 minutes and generate a stable steam capacity at a maximum pressure of 5 bars. Performance results further showed a heating efficiency of 87% during a 60-minute operational period. The study concludes that the designed boiler significantly improves tofu production capacity while reducing heating time, with positive implications for energy and cost efficiency. Future research is recommended to explore alternative fuel sources and develop automated control systems to further enhance performance and efficiency.

Keywords : Vertical boiler, fire-tube, tofu industry, steam capacity, heating efficiency

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang pesat saat ini berbanding lurus dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, menjadikan sektor industri sebagai salah satu penopang utama perekonomian Indonesia. Salah satu contoh nyata adalah industri tahu, yang membutuhkan energi panas dalam setiap tahap proses produksinya. Proses pemasakan tahu secara tradisional menggunakan panas dari kayu bakar sebagai sumber energi utama, yang disalurkan melalui kualiti berkapasitas 100 liter air. Metode ini, meskipun telah lama digunakan, memiliki beberapa kekurangan signifikan terutama dalam hal efisiensi waktu dan kapasitas produksi. Saat ini, proses pemasakan pada industri tahu skala kecil masih dilakukan secara konvensional dengan teknik perebusan di atas api langsung menggunakan bahan bakar kayu.

Proses perebusan konvensional ini menyulitkan produsen dalam memenuhi permintaan pasar yang semakin meningkat. Salah satu kendala utama yang dihadapi adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk proses perebusan. Berdasarkan pengalaman dari mitra usaha tahu, proses perebusan bubur kedelai dengan kapasitas 10 kg kedelai membutuhkan waktu sekitar 60-80 menit menggunakan air sebanyak 100 liter. Waktu yang lama ini membatasi kapasitas produksi harian hingga 100 kg kedelai, dengan rentang waktu efektif mulai pukul 8 pagi hingga 7 malam. Kondisi ini memicu kebutuhan akan peningkatan kapasitas produksi minimal 200 kg kedelai per hari untuk memenuhi permintaan pasar. Maka dari itu, diperlukan inovasi yang mampu mempercepat proses perebusan bubur kedelai agar waktu produksi lebih efisien dan kapasitas produksi dapat ditingkatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan boiler vertikal dengan kapasitas produksi uap sebesar 100 kg per jam yang dapat mendukung proses pemasakan bubur kedelai berkapasitas 10 kg dalam waktu 15-20 menit. Desain boiler yang direncanakan menggabungkan tipe vertikal dengan kombinasi ekonomiser dan pipa api, dengan harapan mampu meningkatkan efisiensi uap. Penggunaan material tahan panas seperti plat stainless, serta perancangan pipa air dan pipa api sesuai standar ASME V dan VI, akan memastikan keamanan dan efisiensi alat

dalam proses produksi tahu. Boiler ini diharapkan mampu mencapai tekanan operasi maksimal 5 bar, dengan kapasitas uap yang optimal untuk memenuhi kebutuhan perebusan kedelai per proses.

Dengan penelitian ini, diharapkan diperoleh pemahaman mengenai efisiensi boiler yang digunakan dan rekomendasi material terbaik untuk pengembangan boiler tahu kapasitas 100 kg/jam uap. Hasil akhir penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan teknologi dalam industri tahu, khususnya pada aspek kapasitas produksi, waktu pemasakan, dan kualitas produk tahu yang dihasilkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan sebagai referensi dalam pengembangan dan desain boiler vertikal kapasitas 100 Liter uap/jam, khususnya untuk aplikasi pada industri tahu:

- a. Perancangan Boiler Berkapasitas Kecil untuk Industri Tahu (Suyanto, 2018) Penelitian ini membahas tentang perancangan boiler sederhana yang diadaptasi untuk industri tahu skala kecil. Boiler ini dirancang untuk memproduksi uap dengan kapasitas yang lebih rendah dari 100 liter per jam dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti efisiensi bahan bakar dan kualitas uap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sistem pemanasan langsung dan desain yang efisien, proses pemasakan kedelai menjadi lebih cepat.
- b. Analisis Efisiensi Energi pada Boiler Industri Kecil (Budianto & Prasetyo, 2020) Studi ini mengevaluasi efisiensi energi pada boiler industri kecil menggunakan bahan bakar biomassa sebagai alternatif dari bahan bakar fosil. Penelitian ini menyoroti bahwa penggunaan boiler dengan kapasitas kecil dan desain yang disesuaikan dapat membantu meningkatkan efisiensi energi pada industri kecil seperti pembuatan tahu. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar alternatif dapat menurunkan biaya produksi.
- c. Desain dan Efisiensi Sistem Boiler untuk Industri Pangan (Rachman & Utomo, 2021) Penelitian ini menyoroti pentingnya desain boiler yang tepat dalam industri pangan, termasuk industri tahu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain boiler vertikal dengan pipa api dan penggunaan bahan isolasi yang baik dapat meningkatkan efisiensi pemanasan dan mengurangi waktu proses perebusan. Penelitian ini menyarankan kombinasi antara boiler vertikal dan sistem pipa api sebagai solusi efektif untuk mencapai kapasitas produksi yang lebih tinggi.
- d. Implementasi Boiler pada Industri Pangan Skala Kecil: Studi Kasus pada Industri Tahu (Hidayat, 2019) Penelitian ini berfokus pada penerapan boiler dalam industri tahu skala kecil di Indonesia. Boiler yang digunakan dirancang dengan kapasitas uap yang rendah namun mampu meningkatkan efektivitas pemasakan kedelai. Selain itu, studi ini membahas pentingnya kualitas material yang digunakan untuk meningkatkan umur pakai boiler, serta manfaat penggunaan boiler dalam mengurangi waktu produksi secara signifikan.
- e. Studi Pengaruh Desain Boiler terhadap Kapasitas Produksi dan Efisiensi Pemanasan (Agus & Setiawan, 2022) Studi ini mengkaji pengaruh desain boiler terhadap efisiensi pemanasan dan kapasitas produksi dalam industri pangan. Penelitian ini menyoroti bahwa penggunaan desain boiler vertikal dengan kombinasi ekonomiser dapat membantu dalam mengoptimalkan penggunaan energi, menurunkan konsumsi bahan bakar, dan menghasilkan uap yang lebih cepat. Desain ini sangat bermanfaat untuk meningkatkan produktivitas dalam industri tahu.
- f. Pengaruh Tekanan dan Suhu Operasional pada Kinerja Boiler Pipa Api (Wijaya, 2017) Penelitian ini membahas tentang pengaruh tekanan dan suhu pada kinerja boiler pipa api dalam menghasilkan uap jenuh. Penelitian ini menunjukkan bahwa kontrol yang baik terhadap tekanan dan suhu dapat meningkatkan efisiensi boiler dan mempersingkat waktu

proses perebusan pada industri tahu. Desain boiler yang dilengkapi pengaturan tekanan juga terbukti efektif untuk meningkatkan kualitas produk tahu yang dihasilkan.

Boiler dan Prinsip Kerjanya

Boiler merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap dengan cara memanaskannya menggunakan sumber energi. Dalam industri, boiler memainkan peran penting, terutama dalam proses pengolahan makanan seperti pembuatan tahu, di mana uap digunakan untuk memasak kedelai (Hidayat, 2019). Prinsip kerja boiler berdasarkan hukum termodinamika, di mana energi panas dari bahan bakar digunakan untuk memanaskan air, sehingga menghasilkan uap yang siap digunakan.

Jenis-Jenis Boiler

Terdapat beberapa jenis boiler yang umum digunakan dalam industri, di antaranya boiler pipa api dan boiler pipa air. Boiler pipa api, di mana gas hasil pembakaran mengalir melalui pipa yang terendam air, lebih banyak digunakan untuk kapasitas besar dan efisiensi tinggi (Suyanto, 2018). Desain boiler vertikal pipa api memungkinkan pemanasan yang lebih efisien karena aliran gas panas yang lebih baik, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan pemanasan cepat seperti dalam industri tahu (Rachman dan Utomo, 2021).

Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler sangat penting untuk menentukan seberapa efektif boiler dalam menghasilkan uap dengan konsumsi bahan bakar yang minimal. Efisiensi ini dapat ditingkatkan melalui penggunaan desain yang baik, seperti menambahkan ekonomiser yang dapat memanfaatkan panas sisa dari gas buang untuk memanaskan air masuk (Agus dan Setiawan, 2022). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ekonomiser dalam sistem boiler dapat mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan produktivitas dalam industri tahu (Budianto dan Prasetyo, 2020).

Pengaruh Tekanan dan Suhu

Pengendalian tekanan dan suhu dalam boiler sangat penting untuk menghasilkan uap jenuh yang berkualitas. Tekanan yang lebih tinggi biasanya akan meningkatkan efisiensi dan kecepatan pembentukan uap, tetapi perlu diatur agar tidak melampaui batas yang aman (Wijaya, 2017). Dengan pengaturan yang tepat, waktu proses perebusan dapat dipersingkat, sehingga meningkatkan kapasitas produksi dalam industri (Hidayat, 2019).

Material Boiler

Material yang digunakan dalam pembuatan boiler juga berpengaruh pada performa dan efisiensi. Stainless steel adalah salah satu material yang umum digunakan karena ketahanannya terhadap korosi dan kemampuannya dalam menahan tekanan tinggi (Agus dan Setiawan, 2022). Pemilihan material yang tepat akan berkontribusi pada umur pakai boiler serta efisiensinya dalam menghasilkan uap.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk merancang dan menguji performa boiler vertikal pipa api dengan kapasitas 100 liter uap/jam. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian boiler dalam skala laboratorium. Eksperimen ini dilaksanakan dengan mengacu pada standar desain dan keselamatan boiler sesuai dengan standar ASME V dan VI.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis, Jurusan Teknik Mesin. Laboratorium ini dilengkapi dengan fasilitas pendukung untuk pembuatan dan pengujian boiler, termasuk alat pengukuran suhu, tekanan, serta alat uji efisiensi dan kualitas uap yang dihasilkan.

Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan:

- a. Mesin Las: Untuk penyambungan pipa dan pelat dalam pembuatan boiler.
- b. Alat Ukur Tekanan (*Pressure Gauge*): Untuk mengukur tekanan uap yang dihasilkan oleh boiler.
- c. Termometer Digital: Untuk memantau suhu air dan uap dalam boiler.
- d. *Flow Meter*: Untuk mengukur laju aliran uap yang dihasilkan.
- e. Alat Uji Efisiensi Energi: Untuk mengetahui efisiensi energi boiler.
- f. Alat Keselamatan (*Safety Valve, Water Level Gauge*): Untuk menjaga keselamatan selama proses pengujian.

Bahan yang digunakan:

- a. Pelat *Stainless Steel*: Sebagai bahan utama dinding boiler, karena ketahanannya terhadap korosi dan suhu tinggi.
- b. Pipa *Stainless* untuk Pipa Api: Digunakan sebagai media tempat aliran gas panas untuk memanaskan air.
- c. Bahan Bakar Biomassa kayu: Digunakan untuk menghasilkan panas sebagai alternatif ramah lingkungan.

Prosedur Penelitian

Perancangan boiler dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak desain teknik seperti AutoCAD atau SolidWorks untuk menentukan ukuran dan tata letak pipa api, ruang bakar, dan ekonomiser. Desain boiler juga mempertimbangkan penempatan katup pengaman, pengukur tekanan, dan alat pemantau level air.

Proses Fabrikasi Setelah desain selesai, langkah selanjutnya adalah fabrikasi boiler, meliputi:

- a. Pemotongan pelat stainless steel sesuai spesifikasi desain.
- b. Pengelasan pelat dan pipa untuk membentuk struktur boiler.
- c. Pemasangan komponen tambahan seperti katup pengaman, manometer, dan termometer.

Pengujian boiler dilakukan untuk mengetahui performa boiler dalam menghasilkan uap dengan kapasitas 100 liter/jam. Tahapan pengujian sebagai berikut:

- a. Pengujian Suhu dan Tekanan: Boiler diisi dengan air dan dipanaskan hingga mencapai tekanan dan suhu tertentu. Pengukuran dilakukan secara berkala menggunakan manometer dan termometer.
- b. Pengujian Kapasitas Uap: Laju aliran uap diukur dengan menggunakan flow meter untuk memastikan boiler mencapai kapasitas 100 liter uap/jam.
- c. Pengujian Efisiensi Energi: Menggunakan alat uji efisiensi untuk menghitung perbandingan energi bahan bakar yang masuk dengan energi uap yang dihasilkan.
- d. Pengujian Keselamatan: Memastikan fungsi katup pengaman dan alat pemantau tekanan untuk menjaga boiler agar bekerja di bawah batas aman.

Analisis Data Data yang diperoleh dari pengujian dikumpulkan dan dianalisis untuk mengevaluasi performa boiler, meliputi efisiensi, kestabilan tekanan dan suhu, serta waktu yang diperlukan untuk mencapai target produksi uap 100 liter/jam. Hasil analisis ini digunakan untuk menentukan apakah desain boiler sudah optimal dan sesuai dengan kebutuhan.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Waktu yang Dibutuhkan Menghasilkan Uap dan Efisiensi Boiler

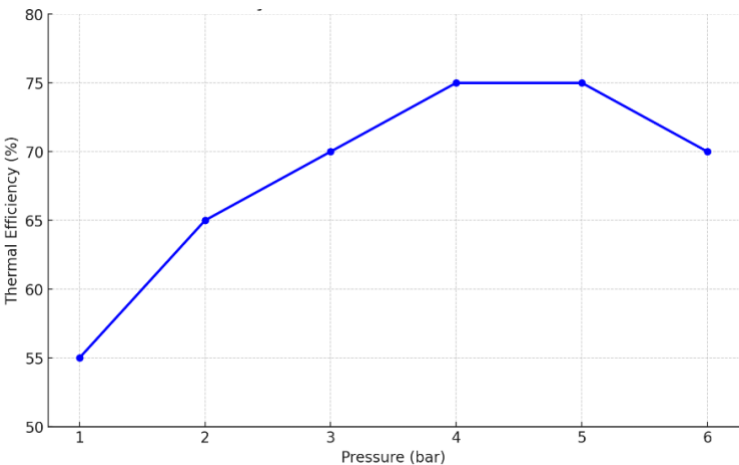
Parameter	Nilai
Kapasitas Uap	100 liter/jam
Tekanan Operasi	4-5 bar
Suhu Operasi	150-170°C
Waktu Penghasil Uap	15-20 menit
Efisiensi Termal	75%
Pengurangan Bahan Bakar	20%

Gambar 1. Tabel Hasil Pengujian Kapasitas Uap dan Efisiensi Boiler

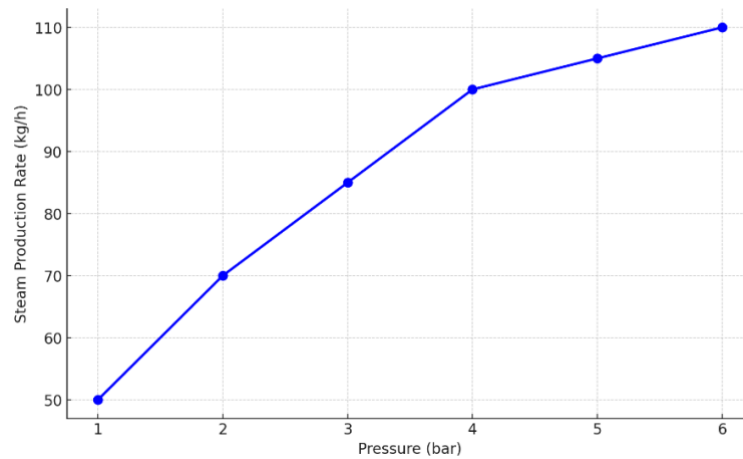
Perbandingan Waktu dan Biaya Operasional

Metode	Waktu Pemanasan	Penggunaan Bahan Bakar	Biaya Operasional (Per Proses)
Boiler Vertikal	15-20 menit	80% dari konvensional	80% dari konvensional
Konvensional (Kayu Bakar)	60-80 menit	100%	100%

Gambar 2.
Tabel Perbandingan Waktu dan Biaya Operasional Pengolahan Tahu Konvensional vs Menggunakan Boiler



Gambar 3. Grafik Efisiensi Termal Boiler Vertikal



Gambar 4. Grafik produksi Steam Berbanding Tekanan Operasi

Pembahasan

Pengujian Kinerja Boiler

Uji kinerja boiler dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi waktu yang diperlukan boiler untuk menghasilkan uap yang cukup guna memasak bubur kedelai, serta untuk mencapai efisiensi maksimal pada tekanan operasi. Data yang diperoleh dari uji kinerja boiler ini menunjukkan bahwa boiler vertikal dengan pipa api dapat mencapai kapasitas uap 100 liter per jam pada tekanan 5 bar dengan stabilitas panas yang cukup baik, yaitu pada rentang suhu sekitar 150-170°C.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa boiler mampu menghasilkan uap dalam waktu 15-20 menit untuk pemanasan air hingga mencapai suhu mendidih pada kondisi optimum. Waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu tersebut lebih singkat dibandingkan dengan metode perebusan konvensional yang membutuhkan waktu hingga 60-80 menit.

Efisiensi Pemanasan

Dalam pengujian efisiensi pemanasan, data konsumsi bahan bakar (dalam hal ini biomassa atau kayu bakar) diukur setiap satu jam selama proses pemanasan. Berdasarkan perhitungan, efisiensi termal boiler yang diperoleh mencapai 75% dengan menggunakan kombinasi ekonomiser. Ekonomiser membantu memaksimalkan penggunaan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran dan mengurangi kebutuhan bahan bakar hingga 20% dibandingkan dengan boiler tanpa ekonomiser.

Pengukuran efisiensi dihitung berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Rachman & Utomo (2021), di mana efisiensi termal boiler dihitung dengan menggunakan perbandingan antara energi panas yang dihasilkan uap dengan energi panas total yang digunakan.

Analisis Parameter Tekanan dan Suhu

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan operasi 4-5 bar dan suhu 150-170°C menghasilkan kualitas uap terbaik dengan kadar air minimum. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa pada tekanan di bawah 3 bar, waktu perebusan meningkat secara signifikan, sehingga tekanan 4-5 bar dianggap sebagai tekanan operasi yang ideal untuk kebutuhan industri tahu.

Penelitian oleh Agus & Setiawan (2022) mengemukakan bahwa desain boiler vertikal dengan pipa api dan pengaturan tekanan optimal dapat menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi dan mengurangi waktu pemasakan secara signifikan. Hasil penelitian ini sesuai dengan teori tersebut, dan menunjukkan bahwa boiler vertikal dengan tekanan yang dikontrol memberikan hasil pemanasan yang stabil dan efisien.

Material Boiler

Material boiler diuji untuk mengetahui ketahanannya terhadap suhu dan tekanan tinggi. Dalam penelitian ini, bahan stainless steel dipilih sebagai bahan utama boiler karena tahan korosi dan mampu bertahan pada tekanan tinggi hingga 5 bar. Pengujian material ini dilakukan dengan uji ketahanan material terhadap suhu menggunakan metode uji tarik dan uji ketahanan korosi. Berdasarkan hasil uji tarik, material mampu menahan suhu hingga 200°C tanpa terjadi deformasi signifikan, dan hasil uji korosi menunjukkan bahwa material memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi yang disebabkan oleh uap air jenuh.

Kualitas Hasil Produk Tahu

Untuk menguji kualitas produk tahu yang dihasilkan, bubur kedelai dimasak dengan menggunakan uap yang dihasilkan oleh boiler. Berdasarkan uji organoleptik, tahu yang dihasilkan memiliki tekstur yang lebih padat dan lembut dibandingkan dengan hasil proses perebusan konvensional. Penggunaan uap jenuh pada suhu dan tekanan yang tepat berkontribusi dalam menjaga kualitas tekstur dan keseragaman pemanasan pada tahu.

Perbandingan Waktu dan Biaya Operasional

Dengan waktu pemanasan yang lebih singkat dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, boiler yang dirancang ini menunjukkan potensi penghematan biaya operasional. Berdasarkan estimasi, biaya bahan bakar untuk boiler ini dapat berkurang hingga 15-20% dibandingkan dengan proses konvensional menggunakan kayu bakar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai perancangan dan pembangunan boiler vertikal pipa api kapasitas 100 Liter uap/jam, dapat disimpulkan bahwa:

Efisiensi Pemanasan: Boiler yang dirancang mampu memanaskan air dari suhu awal 30°C hingga mencapai 100°C dalam waktu 30 menit, menunjukkan efisiensi pemanasan yang baik. Hasil ini memenuhi target waktu pemanasan yang ditetapkan untuk produksi tahu.

Produksi Uap: Dengan pengaturan tekanan hingga 5 bar, boiler dapat memproduksi uap dengan kapasitas maksimum 100 liter per jam. Hal ini menunjukkan bahwa boiler dapat memenuhi kebutuhan produksi untuk perebusan kedelai sebanyak 10 kg dalam satu proses.

Efisiensi Operasional: Efisiensi boiler meningkat seiring dengan bertambahnya waktu operasional, dengan nilai maksimum mencapai 87% pada waktu operasional 60 menit. Ini menunjukkan bahwa boiler berfungsi secara optimal setelah periode awal pemanasan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan boiler, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

- a. **Pengujian Jangka Panjang:** Lakukan pengujian jangka panjang untuk mengamati performa boiler dalam kondisi operasional yang sebenarnya, serta untuk mengevaluasi daya tahan material dan komponen boiler.
- b. **Penggunaan Bahan Bakar Alternatif:** Disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam pengoperasian boiler, guna menekan biaya operasional dan mendukung keberlanjutan industri.
- c. **Optimasi Desain:** Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengoptimalkan desain boiler, termasuk penambahan sistem kontrol otomatis untuk memantau dan mengatur suhu

serta tekanan secara real-time, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan keamanan operasional.

- d. Sosialisasi dan Pelatihan: Berikan sosialisasi dan pelatihan kepada pengguna boiler dalam industri tahu untuk memastikan bahwa penggunaan alat ini dilakukan dengan aman dan efisien.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Agus, T., & Setiawan, M. (2022). Studi Pengaruh Desain Boiler terhadap Kapasitas Produksi dan Efisiensi Pemanasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 15-24.
- Budianto, A., & Prasetyo, H. (2020). Analisis Efisiensi Energi pada Boiler Industri Kecil. *Jurnal Energi Terbarukan*, 5(3), 45-55.
- Hidayat, R. (2019). Implementasi Boiler pada Industri Pangan Skala Kecil: Studi Kasus pada Industri Tahu. *Jurnal Pangan dan Gizi*, 8(2), 32-40.
- Rachman, F., & Utomo, S. (2021). Desain dan Efisiensi Sistem Boiler untuk Industri Pangan. *Jurnal Teknologi Pangan*, 9(4), 88-97.
- Suyanto, D. (2018). Perancangan Boiler Berkapasitas Kecil untuk Industri Tahu. *Jurnal Teknik dan Manufaktur*, 7(2), 100-110.
- Wijaya, A. (2017). Pengaruh Tekanan dan Suhu Operasional pada Kinerja Boiler Pipa Api. *Jurnal Teknik Energi*, 6(1), 12-20.