

Rancangan dan penerapan teknologi boiler *vertikal fire tube* untuk perebusan bubur kedelai tahu Kalisari Banyumas

Sakuri^{1*}, Nana Supriyana¹, Hartono², Yusmedi Nurfaizal³, Reza Azizul Nasa Al Hakim⁴

¹) Prodi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto
Jl. Semingkir No. 1 Purwokerto, Indonesia

²) Prodi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto
Jl. Semingkir No.1 Purwokerto, Indonesia

³) Prodi Bisnis Digital Universitas AMIKOM Purwokerto
Jl. Letjend Pol. Sumarto No.127. Watumas Purwokerto, Indonesia

⁴) Prodi Teknik Industri Universitas Jendral Sudirman
Jl. Mayjend Sungkono KM 5 Blater Purbalingga, Indonesia

*Corresponding author: sakuridahlan33@gmail.com

Abstract

The purpose of the study was to design and application a fire tube boiler for boiling soybean slurry in the process of making tofu with a capacity of 120 kg/day Parameters were measured to compare the boiling process of wood fuel and wood pellet boilers, the efficiency of fuel use, the improvement of tofu quality based on physical and chemical observations, and the use of water for production activities.. The boiler tube is made of steel plate with a thickness of 5 mm. 2 inch diameter sch 80 fire pipe totaling 20 rods. The boiler body is 600 mm in diameter with a height of 1600 mm. The tube sheet uses a plate thickness of 8 mm and the distance between the fire pipes 100 mm. The design uses ASME Section IV of 2004. The boiler manufacturing process uses a welding system. The test results show that the boiler was able to boil 120 kg/hour soybeans because it uses an automatic and sustainable system. The boiler is safe to use because it is equipped with a manometer and pressure control valve so that the boiler works at a safe limit below 2 bar. Boiling with a boiler produces more efficient fuel. The boiling time is faster, the quality of tofu was better chemically and physically, and the use of water in the production of tofu is more efficient.

Keywords : Boiler, tofu, application, efficient.

Abstrak

Tujuan penelitian untuk merancang dan menerapkan boiler pipa api perebusan bubur kedelai pada proses pembuatan tahu kapasitas 120 kg/hari. Parameter diukur untuk membandingkan proses perebusan boiler bahan bakar kayu dan wood pellet, efisiensi penggunaan bahan bakar, peningkatan kualitas tahu berdasar pengamatan yang dihasilkan secara fisika dan kimia, dan penggunaan air untuk kegiatan produksi. Tabung boiler terbuat dari plat baja dengan ketebalan 5 mm. Pipa api sch 80 berdiameter 2 inchi berjumlah 20 batang. Badan boiler berdiameter 600 mm dengan ketinggian 1600 mm. Tube sheet menggunakan plat ketebalan 8 mm dan jarak antar pipa api sebesar 100 mm. Perancangan menggunakan ASME Section IV Tahun 2004. Proses pembuatan boiler menggunakan sistem pengelasan. Hasil pengujian menunjukkan boiler mampu merebus kedelai diatas 120 kg/hari karena dilengkapi sistem otomatis pada pompa pengisi boiler. Boiler aman digunakan karena dilengkapi dengan manometer dan katup pengontrol tekanan agar boiler bekerja pada batas aman dibawah 2 bar. Perebusan dengan boiler menghasilkan bahan bakar yang lebih efisien. Waktu perebusan lebih cepat, kualitas tahu secara kimia dan fisika lebih baik, dan penggunaan air dalam produli tahu lebih efisien.

Kata kunci : Boiler, penerapan, tahu, efisien.

Pendahuluan

Sentra tahu desa Kalisari Cilongok, merupakan UKM tahu terlama di Kabupaten Banyumas dengan jumlah UKM lebih dari 300 yang tersebar dalam rumah – rumah produksi tahu [1]. Kapasitas produksi setiap UKM rata rata 50 – 80 kg kedelai perhari. Hasil observasi lapangan yang dilakukan oleh tim dosen dan mahasiswa semua UKM tahu Kalisari menggunakan kayu bakar langsung dalam perebusan bubur kedelai untuk dijadikan tahu. Kelemahan penggunaan kayu bakar dalam perebusan tahu adalah ruang produksi yang tidak higienis karena antara perebusan dan produksi tahu dalam satu ruangan. Asap dan debu pembakaran kayu masuk dalam bubur kedelai sehingga warna dari rasa akan berubah [2]. Ketersediaan bahan bakar kayu yang mulai berkurang berakibat pada kayu makin sulit didapat dan harga yang semakin meningkat [3]. Perancangan dan penerapan teknologi boiler sebagai alternatif untuk perebusan bubur kedelai dalam memasak menjadi pilihan dalam program Kosabangsa DRPM Dikti. Boiler atau ketel adalah jenis alat perubah energi dari air yang direbus menjadi uap dengan tekanan tinggi [4].

Boiler jenis fire tube banyak digunakan dalam industry kecil dan menengah seperti perebusan jamur, pengukus minyak nilam, dan perebusan bubur kedelai tahu [5]. Boiler dirancang untuk perebusan bubur kedelai dengan kapasitas ditingkatkan menjadi 120 kg per hari agar beberapa UKM dapat menggunakan boiler dalam beberapa UKM tahu. Boiler dirancang menggunakan standarisasi ASME section IV tahun 2004 agar keamanan dalam penggunaan terjaga. Kapasitas boiler, tekanan, dan temperature uap terkendali agar dalam operasional dapat dikontrol dengan baik.

Perancangan boiler menggunakan program AutoCAD 2021 sehingga perancangan lebih detail dan sempurna. Hasil operasional boiler untuk perebusan kedelai akan diuji coba kualitas uap yang dihasilkan dengan menerapkan pada industri tahu di UKM Kalisari Cilongok Banyumas.

Perancangan boiler ini digunakan bahan bakar dari kayu bakar dan minyak bekas atau jelantah minyak goreng dengan model burner untuk sistem pengapian. Model ini terasa tepat karena akan mengurangi penggunaan kayu sebagai bahan bakar dan memanfaatkan limbah oli bekas dan jelantah minyak goreng dari hasil sisa penggorengan tahu yang banyak terdapat di UKM tahu Kalisari.

Tinjauan Pustaka

Pemasakan didih kedelai menggunakan tungku pada proses pembakaran memiliki kelemahan karena tungku dengan kayu bakar mengeluarkan asap yang dapat mempengaruhi rasa, warna dan aroma tahu. Pemasakan tungku tidak begitu efektif karena mengeluarkan biaya bahan bakar dari kayu yang sekarang sulit mendapatkannya. [6]. Penggunaan ketel uap (boiler) dalam pengolahan tahu dapat menghemat penggunaan bahan bakar dibandingkan penggunaan tungku disejumlah bak masak. Pemanfaatan boiler sebagai penghasil uap mampu mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 60 % [7].

Penggunaan boiler juga mengurangi penggunaan air produksi yang berpotensi menekan limbah cair yang dihasilkan [8]. Boiler mulai banyak digunakan dalam pemasakan di UMKM tahu. Boiler memiliki 2 tipe yaitu fire tube boiler yaitu gas panas melewati pipa – pipa dan air umpan boiler didalam shell untuk diubah menjadi uap. Tipe kedua yaitu water tube boiler air umpan pada boiler mengalir dalam pipa -pipa masuk ke dalam drum. Produksi boiler dibagi penggunaan boiler pada dalam 3 katagori yaitu ukuran sedang, menengah dan kecil. Ukuran boiler kecil dengan kapasitas produksi kurang dari 100 kg seri TPD60V1, kapasitas menengah dengan kapasitas produksi antara 100–250 kg dengan seri TPD80V5 dan kapasitas besar dengan produksi antara 250 – 1 ton dan diberi seri TPD80 V9 [9]. Perancangan dan penerapan teknologi boiler telah banyak diterapkan pada UKM tahu seperti penelitian karya dosen Universitas Negeri Semarang yang

menerapkan boiler pada pemasakan bubur kedelai di wilayah UKM Bandungan Kabupaten Semarang [10], perancangan boiler tahu kapasitas 200 kg/hari [11], dan perancangan mini boiler tahu untuk industri [12].

Perancangan boiler ini akan membandingkan penggunaan kayu sebagai bahan bakar utama boiler dan wood pellet sebagai bahan baku utama. Perbandingan antara bahan bakar batu bara sebagai pemanas boiler dan cangkang sawit [13]. Wood Pellet banyak terdapat di Wilayah Banyumas karena banyaknya sisa gergajian kayu yang dikemas sebagai bahan bakar dalam bentuk wood pellet untuk ketel dan PLTU [14]. Wood pellet memiliki rasio panas yang relatif tinggi out put dan inputnya (19 : 1) dan energi sekitar 4,7 Kwh/kg [15]. Penggunaan boiler dengan bahan bakar pelet mulai banyak dikembangkan [16,17]. Penelitian ini merancang sebuah boiler untuk perebusan bubur tahu dengan kapasitas maksimal 120 kg/jam. Bahan bakar dengan membandingkan penggunaan kayu bakar dan wood pellet.

Material dan Metode

Material

Plat ukuran 240 cm x 120 dengan ketebalan 5 mm dan pipa galvanis ukuran 0,75,1, dan 2,5 inci medium B diperoleh dari Toko Besi Mega Baja Purwokerto. Pipa ukuran 2,5 inci dengan standar Sch 80 untuk pipa api diperoleh dari Toko Barito Semarang Jawa Tengah. Manometer pengukur tekanan, temperature control, dan gelas ukur ketinggian air, dan pengaman tekanan diperoleh PT Nusamba Teknik Semarang Indonesia.

Metode

Proses perancangan boiler tahu menggunakan program AutoCAD 2021. Standart yang digunakan dalam merancang dan membuat boiler tahu ASME Section IV tahun 2004. Proses pembuatan boiler hampir semua menggunakan sistem pengelasan. Pengelasan menggunakan las 3 fasa Inverter stick welding 330 A dengan

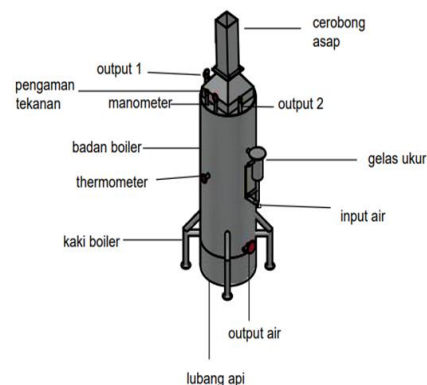
kawat 2.6 mm. Pembuatan boiler dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin STT Wiworotomo Purwokerto Jawa tengah. Sedang pemotongan plat dan pelubangan plat ketebalan 5 mm menggunakan metode blender las dan potong las plasma dengan menerapkan pelubangan sempurna.

Rancangan penelitian

Rancangan menggunakan boiler dengan diameter dalam badan boiler 60 cm atau 22,83 inci. Tekanan kerja perancangan maksimal 10 bar atau 145,03 Psi (lb/in²).

Badan Boiler Boiler direncanakan untuk kapasitas produksi perebusan bubur kedelai 120 kg/jam, sehingga boiler tergolong kapasitas kecil karena kurang dari 1 ton perjam [6]. Perancangan dapat menggunakan ASME section IV dengan material carbon steel grade C material SA 285. Menggunakan bahan material tersebut didapatkan nilai maximum allowable stress value 11000 Psi. dengan ASME section IV 2004:73. Sehingga diperoleh dengan persamaan : $t = (P.R) / (SE - 0,6 . P)$ [18].

Sehingga diperoleh ketebalan plat yang digunakan untuk pembuatan boiler perebusan tahu 5 mm, sehingga diameter luar dari boiler 59 cm ~ 60 cm = 600 mm.



Gambar 1. Rancangan boiler dan tampilan

Pipa api (*fire tube*)

Pipa api dirancang harus mampu menahan tekanan Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) sebesar 10 bar atau 145,03 psi. Material pipa api menggunakan seamless carbon steel dengan code SA 53 grade B yang digunakan untuk boiler ASME section IV. Fire tube ini material yang mendapatkan eksternal

pressure dan ketahanan panas karena bersentuhan langsung dengan api.

Metode perhitungan ketebalan pipa api dilakukan dengan model trial and error, sehingga data yang benar disajikan pada penelitian ini.

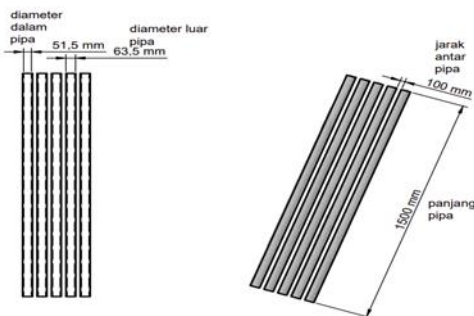
Maximum allowable stress value 12000 psi. Yield strength 242 MPa. Join koefisien 85 %

T = Temperatur perancangan 150 °C

L = Panjang fire tube 1500 mm = 59,06 inchi

Do = Diameter fire tube 63,5 mm.

Menghitung ketebalan fire tube dengan menggunakan prosedur pencarian pada ASME section IV menentukan L/Do dan Do/t. $L/Do = 59,06/2,5 = 23,62$. Asumsi $Do/t = 60$ [19]. Nilai Do/t tertinggi adalah 25,00 sehingga perbandingan ini yang diambil jadi $P = 11298,44/60 = 188,03$ (Psi) lb/in^2 $188,03 > 145,03$ jadi $Do/t = 60$ dapat digunakan jadi nilai ketebalan fire tube adalah 0,041 inchi atau minimum 1,058 mm setelah ditambah factor keamanan dan keselamatan diambil 6 mm. Jadi diameter diameter dalam pipa api adalah $63,5 - 12 = 51,5$ mm.



Gambar 2. Pipa Api Hasil Rancangan

Tube sheet

Perlengkapan boiler lainnya yaitu tube sheet yang digunakan untuk menopang pipa pipa api boiler. Tube sheet bagian utama yang menopang pipa api dan bagian bawah terbakar langsung dengan api. Tube sheet harus mampu mempertahankan MAWP yang direncanakan. Material tube sheet menggunakan material carbon steel ASME section IV SA 53 grade B. p = jarak antar pipa api = 100 mm, $C = 2.7 - 2.8$ pengelasan ketebalan pipa api. Menggunakan persamaan :

$$t = \sqrt{\left(\frac{P}{CS}\right)\left(p^2 - \frac{\pi D^2}{4}\right)} \dots\dots\dots [20]$$

Menghasilkan $t = 0,31$ inchi atau 7,87 mm ~ 8 mm

Hasil perhitungan menghasilkan ketebalan 8 mm untuk material tube sheet, MAWP pada kerja boiler 145,03 Psi (lb/in^2) dan dapat menahan maksimal tekanan sebesar :

$$P = \frac{CSt^2}{p^2 - \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}$$

Hasil perhitungan nilai tekanan maksimal (P) sebesar 253,04 Psi sehingga lebih besar dari tekanan maksimal yang ditencanakan yaitu 145,03 Psi. penggunaan plat untuk tube sheet aman.

Ligament

Ligament yaitu jarak plat antar lubang pipa api pada tube sheet. Ligament menerapkan pola yang sama pada setiap jarak antar pipa api dalam satu baris. Efisiensi dari ligament dapat ditentukan dengan rumus :

$$E = \frac{p-d}{p} \dots\dots [21]$$

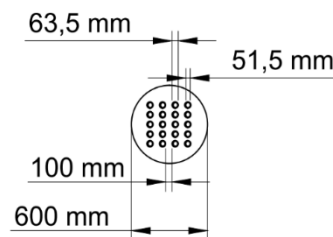
p = Jarak antar lubang

= 100 mm = 39,37 inchi

d = diameter lubang pipa = 51,5 mm = 2,027 inchi

$$E = \frac{39,37 - 2,027}{39,37}$$

$$E = 0,948 \%$$



Gambar 3. Tube sheet dan ligament

Kelengkapan Boiler

Boiler dirancang pada tekanan 2 bar dengan suhu kerja antara 200 – 240 oC, dan dilengkapi control suhu. Boiler dilengkapi sistem masukan air secara otomatis yang memungkinkan boiler dapat beroperasi secara terus menerus. Boiler dilengkapi

dengan manometer dan katup pengaman tekanan untuk dapat bekerja pada batas aman, dan menjaga agar boiler tidak cepat rusak [22].

Parameter Pengukuran

Parameter dasar dalam pengukuran adalah sistem pembakaran dan data boiler. Parameter yang dikur yaitu :

- Jumlah air umpan (ton/jam)
- Jumlah steam yang dihasilkan (ton/jam).
- Konsumsi bahan bakar kayu dan wood pellet per jam(ton/jam).

Data yang dibutuhkan :

- Tekanan steam (bar)
- Suhu Steam (°C)
- Suhu air umpan (°C)
- Suhu udaya yang dipasok (°C)

Data yang harus dihitung :

a. Efisiensi Boiler

$$\eta_{boiler} = \frac{ws}{\text{nilai kalor bahan bakar}}$$

b. Kebutuhan kalor boiler

$$Q_{\text{bahan bakar}} = \frac{Ms(hv - ht)}{\eta}$$

c. Kebutuhan masa bahan bakar

$$Mf = \frac{Q_{\text{bahan bakar}}}{\text{Nilai kalor bahan bar}}$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan dan perancangan desain boiler untuk perebusan didih kedelai di desa Kalisari sebagaimana terdapat dalam tabel berikut ini :

Tabel 1. Spesifikasi Boiler

No	Parameter	Diskripsi
1	Diameter badan boiler	600 mm
2	Tinggi boiler	1600 mm
3	Ketebalan plat boiler	5 mm
4	Diameter pipa api	63,5 mm
5	Jumlah Pipa api	20
6	jarak antara pipa api	100 mm
7	Tekanan kerja	10 bar
8	Suhu Kerja	200-240 °C

9	Produksi uap	20kg /jam
10.	Nilai kalori kayu	337 k/jam
11.	Nilai kalor wood pellet	200 k/jam
12.	Temp. umpan boiler	50 °C
13.	Panas Jenuh	20 °C

Dari hasil data analisis Tabel 1 di atas maka dibangun boiler pipa api untuk perebusan bubur kedelai untuk pembuatan tahu di desa Kalisari sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. Boiler Rancangan

Perancangan dan penerapan boiler pada UKM tahu Desa kalisari memberikan peningkatan efisiensi sebesar 34 % pada bahan bakar, waktu perebusan lebih cepat, dan lingkungan produksi menjadi bersih. Warna tahu lebih terang dan tidak ada bau terbakar. Penerapan boiler pada UKM sangat aman karena dilengkapi dengan pengontrol tekanan dan temperatur serta dirancang secara cermat.

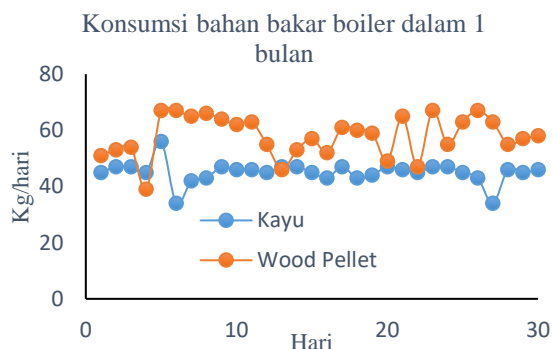


Gambar. 5 Pembakar Wood Pellet

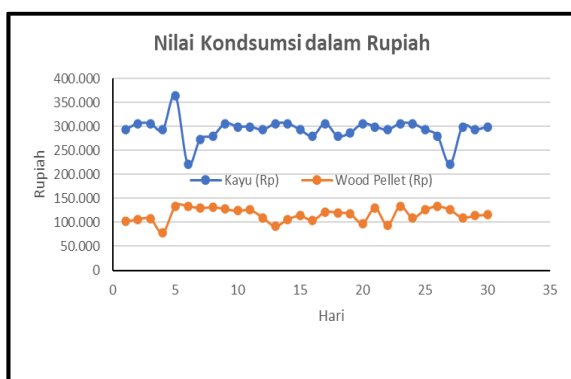
Industri wood pellet banyak terdapat di Banyumas karena diambil dari sisa gergajian kayu dan ranting kayu bakar.

- ❖ Rata-rata konsumsi bahan bakar kayu = 45 kg/hari
- ❖ Konsumsi tertinggi bahan bakar kayu = 56 kg/hari
- ❖ Konsumsi terendah bahan bakar kayu 34 kg /hari
- ❖ Rata-rata konsumsi wood pellet 58 kg /hari
- ❖ Konsumsi tertinggi wood pellet 67 kg /hari
- ❖ Konsumsi wood pellet terendah 39 kg /hari

Harga kayu bakar per keg adalah Rp. 5.500 dan harga wood pellet Rp. 2.000. Sehingga Biaya pemakaian bahan bakar kayu dalam 1 bulan adalah = $45 \times 30 \times \text{Rp. } 5500 = \text{Rp. } 7.425.000$. Biaya pemakaian wood pellet dalam 1 bulan = $58 \times 30 \times \text{Rp. } 2.000 = \text{Rp. } 3.480.000$.



Gambar 6. Grafik konsumsi bahan bakar boiler



Gambar 7. Grafik konsumsi bahan bakar dalam Rupiah.

Dari Grafik 1 dan 2 menunjukkan bahwa konsumis bahan bakar pemakaian menggunakan kayu lebih sedikit

dibandingkan menggunakan bahan bakar wood pellet. Tetapi karena harga wood pellet lebih rendah dari kayu bakar, maka biaya yang dikeluarkan untuk konsumsi kayu bakar lebih tinggi dari konsumsi wood pellet.

Hasil penerapan boiler pada UKM tahu diamati unjuk kerjanya dan pengaruh yang dihasilkannya. Boiler yang diterapkan akan dibandingkan dengan penggunaan, bahan bakar kayu dan wood pellet.

Dari hasil pengamatan dan pengkajian menunjukkan bahwa penggunaan boiler dengan wood pellet lebih efisien dibandingkan penggunaan kayu bakar sekitar 34 %, hal ini sesuai dengan hasil penelitian [18], sedangkan penelitian lain menunjukkan angka efisiensi penggunaan boiler 60 %. [2]. Selain efisien bahan bakar penggunaan boiler dengan wood pellet lebih bersih ruang kerja, warna tahu kuning, dan bau tahu terhirup seperti tidak terbakar. Ruang proses produksi menjadi bersih karena boiler ditempatkan pada ruang berbeda.

Kesimpulan

Perancangan boiler model vertikal sangat cocok untuk UKM karena ukuran ruang yang kecil, dan pemanasan yang tidak menyebar. Perancangan boiler untuk perebusan tahu dengan berbahan bakar wood pellet lebih efisien dalam pengeluaran biaya sekitar 34 %. Boiler dengan bahan bakar wood pellet tidak banyak mengeluarkan asap, ruang bersih, warna tahu lebih kekuningan dan bau tahu terhirup seperti tidak terbakar.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi atas pendanaan Program Kosabangsa Tahun 2022. Terima kasih kepada P3M STT Wiworotomo Purwokertodan seluruh Tim yang membantu Program ini.

Referensi

- [1] Sakuri, S., et al., 2019. Penerapan Alat Press dan Potong Tahu dengan Metode Ergonomis untuk Meningkatkan Efisiensi Kerja pada pengrajin Tahu Desa Kalisari Kecamatan Cilongok Banyumas. In Prosiding Seminar Nasional Unimus
- [2] Faisol, et al., 2013. Perancangan ulang tata letak asilitas produksi tahu Srikandi Junok Bangkalan. *Teknologi Industri Pertanian*, 7(2), 59-67.
- [3] Puspitasari, D., dan Sugiharo, P., 2013 Perancangan Kompor Sekam Padi pada Industri Tahu *Jurnal Teknik Industri USU*, 5(1), 219646.
- [4] Setiawan, A., & Yusuf, M. 2021. Unburnt Analisis Terhadap Pembakaran Ketel Uap Jenis Water Tube Boiler Kapasitas 15 TPH Berbahan Bakar Serat dan Cangkang Kelapa Sawit. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science Technology*, 5(2), 5-8.
- [5] Rauf, J., & Staddal, I., 2019. Uji Komperasi Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Pada Alat Boiler Penghangat Ternak Ayam. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 4(2), 52-61.
- [6] Yuniyanto, et al., 2014. Pengembangan disain tungku bahan bakar kayu rendah polusi dengan menggunakan dinding beton semen. *ROTASI*, 16(1), 28-33.
- [7] Fatoni, R., 2013. Rekomendasi Standar Sistem Keselamatan untuk Steam Boiler di Pabrik Tahu.
- [8] Dewi, M. R., et al., 2022. Kajian Tekno-Ekonomis Pabrik Tahu Menggunakan Metode Steam Boiler dengan Metode Tradisional di Kabupaten Sleman, Yogyakarta (Doctoral dissertation, UMS).
- [9] Informasi dari <https://alsintan.tp.ugm.ac.id/2019/09/12/tipe-ketel-uap-steam-boiler-untuk-ukm-tahu/>
- [10] Saputro, D. et al., 2021. Steam Boiler Technology for Making Soybean Porridge without Smell of Wood Burning Smoke o Tofu Production. *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi dan Pembelajaran*, 19(1), 20-27.
- [11] Hakim, L., & Subekti, P. 2015. Rancang Bangun Ketel Uap mini dengan Pendekatan Standar SNI Berbahan bakar Cangkang Sawit untuk Kebutuhan Pabrik Tahu Kapasitas 200 kg kedelai/hari. *Jurnal Aptek*, 7(1), 45-52.
- [12] Andrianto, et al., 2016, A preliminary analysis on development design of mini boiler for tofu industry. In *AIP Conference Proceedings* 1778,(1) 030014). AIP Publishing LLC.
- [13] Irawan, D., Susanto, E., Gunarto, G., & Julianto, E. (2018). Analisa Nperbandingan Bahan Bakar Batu Bara Dengan Cangkang Sawit Terhadap Boiler Cfb Di Pt Indonesia Chemical Alumina. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 9(2).
- [14] Bawono, A. A. (2021). Strategi Pasokan Biomassa Berkelanjutan Sebagai Bahan Bakar Cofiring Di Pltu Batu Bara Pada Pt Adc (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [15] Sidabutar, V. T. P. (2017). Kajian peningkatan potensi ekspor pelet kayu indonesia sebagai sumber energi biomassa yang terbarukan. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12(1), 99-116.
- [16] Hanifah, U., Susanti, N. D., & Andrianto, M. (2019). Penggunaan Biomassa Limbah Pertanian sebagai Bahan Bakar pada Mini Boiler Tipe Pipa Api 3 Pass.
- [17] Syamsudin, S., Praswati, A. N., Nurhayati, S. F., & Zulaekah, S. (2019). Introduksi Bahan Bakar Wood Pellet pada IKM Makanan:

- Introduction Wood Pellet Fuel In Small And Medium Enterprises. PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat, 5(1), 6-12.
- [18] Goyal, R., et al.,2018. Improving the high-temperature oxidation resistance of ASME-SA213-T11 boiler tube steel by plasma spraying with CNT-reinforced alumina coatings. *Anti-Corrosion Methods and Materials*.
- [19] Purnomo, et al., 2012. *Perancangan Dan Analisa Tegangan Pada Bejana Tekan Vertikal Dengan Metode Elemen Hingga* (Doctoral dissertation, mechanical engineering department, faculty engineering of Diponegoro university).
- [20] Agustira, R., et al.,2017. Rancang Bangun Boiler Vertikal Fire Tube Berbahan Gas Elpiji Untuk Proses Penyulingan Minyak Nilam. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 1(1), 57-60.
- [21] Evan, B., & Handoyo, E. A. 2015. Modifikasi Water Tube Boiler Untuk Mengurangi Deposit Pada Pipa Superheater. *Mechanova*, 4.
- [22] Behrendt, C., & Stoyanov, R. 2018. Operational characteristic of selected marine turbounits powered by steam from auxiliary oil-fired boilers. *New Trends in Production ngineering*, 1(1), 495-501.
- [23] Bairawa, et al.,2021. Application of Vertical Stainless-Steel Type of Steam Boiler for Home Industry of Tofu. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 757, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.