

PENINGKATAN KINERJA *BOILER* KAPASITAS 25 LITER PADA SISTEM PENGERING IKAN BERBASIS UAP *SUPERHEAT* SKALA LABORATORIUM

Patrick Geovani Sitorus¹, Candra Damis Widiawaty^{1*}, Fitri Wijayanti¹
Haolia Rahman¹, Akhmad Junaidi²

¹)Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²)Badan Riset dan Inovasi Indonesia (BRIN), Jakarta, Indonesia

*Corresponding author: candra.damis.widiawati@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Proses pengeringan ikan tradisional yang bergantung pada cuaca dapat diefisiensikan menggunakan teknologi uap superheat. Namun, boiler sebagai generator uap berpotensi kehilangan panas ke lingkungan jika tidak diisolasi. Kebaruan penelitian ini terletak pada peningkatan kinerja boiler pipa api 25 liter menggunakan variasi isolator pada sistem pengering berbasis uap superheated. Penelitian kuantitatif eksperimental ini bertujuan menentukan karakteristik operasional boiler sebelum dan sesudah diisolasi pada tekanan 1 atm dengan bahan bakar LPG. Kinerja boiler dianalisis menggunakan metode langsung membandingkan kondisi tanpa isolator dengan variasi isolator ceramic fiber (25 mm dan 50 mm) serta rockwool (25 mm). Hasil menunjukkan boiler tanpa isolator memiliki kinerja terendah dengan kehilangan panas 526,20 W, efisiensi termal 61%, dan Specific Fuel Consumption (SFC) 0,09055 kg/kg uap. Pemasangan isolator secara signifikan meningkatkan kinerja boiler. Isolator ceramic fiber 50 mm memberikan hasil terbaik dengan mengurangi heat loss hingga 98,51 W, meningkatkan efisiensi hingga 85%, dan mengurangi SFC hingga 0,06461 kg/kg uap. Kinerja ini optimal karena ketebalan 50 mm paling mendekati ketebalan optimum teoritis (60,2 mm). Secara praktis, penggunaan isolator berkontribusi nyata terhadap penghematan energi melalui penurunan SFC, penekanan heat loss, serta peningkatan efisiensi termal boiler. Kata-kata kunci: Boiler, Ceramic Fiber, Efisiensi, Heat Loss, Rockwool, Specific Fuel Consumption

Abstract

Traditional fish drying is weather-dependent and time-consuming, making superheated steam drying a highly efficient alternative. However, boilers without insulation suffer from heat loss, reducing thermal efficiency and increasing fuel consumption. This study investigates the performance enhancement of a 25-liter fire-tube boiler by applying various insulation materials in a superheated steam-based drying system. This experimental quantitative study aims to determine the operational characteristics of the boiler before and after insulation under 1 atm pressure using LPG fuel. The boiler's performance was analyzed using a direct method, comparing the uninsulated condition with variations of ceramic fiber insulation (25 mm and 50 mm) and rockwool (25 mm). The results showed that the uninsulated boiler had the lowest performance, with a heat loss of 526.20 W, thermal efficiency of 61%, and Specific Fuel Consumption (SFC) of 0.09055 kg fuel/kg steam. Installing insulation significantly improved boiler performance. The 50 mm ceramic fiber insulation provided the best results, reducing heat loss to 98.51 W, increasing efficiency to 85%, and reducing SFC to 0.06461 kg fuel/kg steam. This superior performance is due to the 50 mm thickness being closest to the theoretical optimum thickness of 60.2 mm. Practically, the use of insulation contributes to energy savings by lowering SFC, minimizing heat loss, and increasing the boiler's thermal efficiency. Keywords: Boiler, Ceramic Fiber, Efficiency, Heat Loss, Rockwool, Specific Fuel Consumption

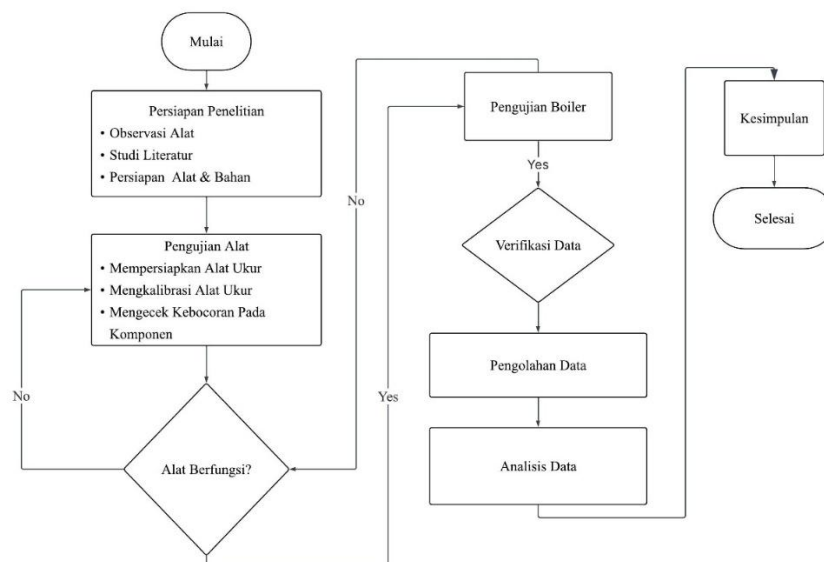
1. PENDAHULUAN

Dalam penanganan pasca panen, pengeringan merupakan proses penting untuk menurunkan kadar air dan memperpanjang umur simpan ikan yang dimana ikan merupakan bahan pokok yang mudah mengalami kerusakan. Metode pengeringan tradisional dengan penjemuran dibawah sinar matahari masih banyak digunakan, namun metode tersebut masih memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan dengan cuaca, waktu pengeringan yang lebih lama, serta risiko kontaminasi debu, dan mikroorganisme [1]. Teknologi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat menggunakan metode pengeringan ikan menggunakan uap *superheated*, yaitu uap air yang suhunya dipanaskan hingga melebihi titik jenuhnya pada tekanan tertentu.

Metode tersebut diketahui dapat meningkatkan kualitas produk serta menghasilkan proses pengeringan yang lebih merata dibandingkan dengan metode konvensional. Dalam sistem pengeringan tersebut terdapat *boiler* yang berfungsi sebagai komponen yang memproduksi uap, namun dalam kondisi lapangan *boiler* masih mengalami kehilangan panas yang besar kelingkungan, sehingga menyebabkan kinerja dari *boiler* dalam memproduksi uap belum optimal serta dapat meningkatkan penggunaan bahan bakar. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menganalisis efisiensi *boiler*. Namun beberapa penelitian terdahulu umumnya hanya berfokus pada aspek pembakaran dan performa *boiler*, sehingga belum mempertimbangkan secara langsung pengaruh kehilangan panas kelingkungan akibat tidak adanya isolasi termal [2]. Selain itu penelitian mengenai penggunaan isolator dalam menekan kehilangan panas kelingkungan masih banyak dilakukan pada komponen lain seperti pipa [3]. Selain itu juga penelitian [4] menggunakan isolator berjenis NBR (*Nitrile Butadine Rubber*) terbukti dapat mempercepat proses pemanasan dan meningkatkan kinerja sistem. Oleh karena itu penelitian ini berfokus pada peningkatan kinerja *boiler* kapasitas 25 liter yang ditinjau dari penggunaan isolator *ceramic fiber* dan juga *rockwool* pada sistem pengering berbasis uap *superheat* dengan membandingkan efisiensi termal *boiler*, laju kehilangan panas kelingkungan (*heat loss*), serta *specific fuel consumption*.

2. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif eksperimental. Desain eksperimen ini dirancang secara khusus untuk mengkaji seberapa besar pengaruh variabel bebas, yakni variasi ketebalan isolator, terhadap serangkaian variabel terikat yang meliputi tingkat kehilangan panas, efisiensi *boiler*, serta konsumsi bahan bakar spesifik. Adapun rincian tahapan pelaksanaan dan prosedur operasional penelitian ini diilustrasikan lebih lanjut melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir

Penelitian ini dimulai dengan tahap persiapan yang meliputi pengamatan objek berupa *boiler* 25 liter, pelaksanaan studi literatur sebagai dasar teoritis, dan persiapan alat dan material seperti *thermocouple* tipe K, timbangan digital, dan tabung gas LPG. Selanjutnya, tahap pengujian alat dilakukan untuk memastikan bahwa instrumen pengukuran telah dikalibrasi untuk menghindari bias, serta memverifikasi kemungkinan kebocoran pada komponen *boiler*. Setelah semua peralatan dipastikan berfungsi normal, penelitian dilanjutkan ke tahap pengujian *boiler* untuk mengumpulkan data penting, termasuk massa awal dan akhir tabung gas dan air, serta data suhu. Data

Patrick Geovani Sitorus, et al/Prosiding A/B Semnas Mesin PNJ (2026)

yang diperoleh kemudian dimasukkan ke tahap verifikasi untuk konsistensi dan kelayakan sesuai dengan persamaan yang digunakan. Setelah data divalidasi, langkah selanjutnya adalah pengolahan data mentah menjadi data teknis untuk menghitung parameter seperti energi masukan, energi keluaran, energi yang terbuang ke lingkungan, *specific fuel consumption*, dan efisiensi *boiler*. Hasil perhitungan ini kemudian dijelaskan dengan membandingkan variasi dan penghematannya dengan teori yang relevan untuk menafsirkan fenomena dan hubungan antarvariabel yang terjadi. Pada tahap akhir, kesimpulan ditarik berdasarkan hasil analisis untuk menjawab tujuan penelitian.

Objek Penelitian dan Data Penelitian

Objek yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah *boiler* dengan kapasitas 25 liter berbahan stainless steel, dapat dilihat pada Gambar 2.

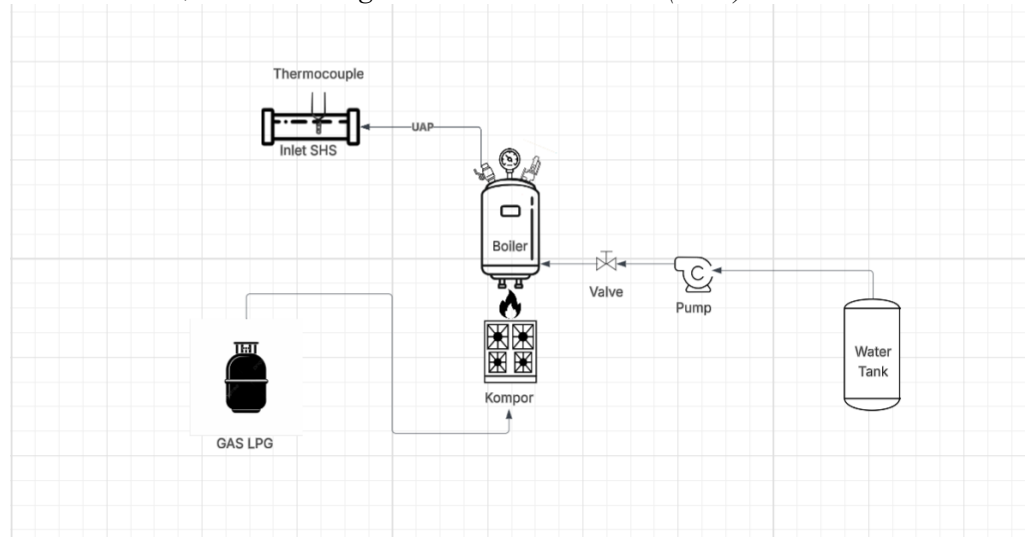


Gambar 2 Boiler

Proses pengumpulan data pada penelitian ini dibagi ke dalam dua tahapan utama, yakni studi literatur dan eksperimen lapangan. Tahap studi literatur dilaksanakan pada awal penelitian. Data yang diambil berupa nilai konduktivitas termal masing-masing material dan nilai HHV dan LHV dari bahan bakar. Selanjutnya, tahap eksperimen dilakukan untuk mengumpulkan data riil di lapangan yang difokuskan pada pengukuran sejumlah parameter operasional, seperti tingkat konsumsi bahan bakar, suhu uap, suhu air umpan, serta suhu pada area *boiler*. Keseluruhan data tersebut diperoleh melalui pengujian berbagai variasi ketebalan isolator guna mengevaluasi dampaknya terhadap karakteristik mesin, di mana seluruh proses observasi dijalankan pada kondisi tekanan operasional *boiler* yang konstan sebesar 1 atm.

Prosedur Pengujian

Tahapan pengujian dimulai dengan memasukkan air umpan ke dalam *boiler* 25 liter. Selanjutnya, tabung LPG dan air ditimbang untuk mencatat massa awal bahan bakar dan air umpan. Termokopel kemudian dipasang untuk mempermudah pengambilan data suhu selama proses berlangsung. Setelah semua persiapan instalasi selesai dan tidak ada kebocoran, *boiler* mulai beroperasi selama 60 menit untuk mengumpulkan data. Setelah periode pengujian berakhir, tabung LPG dan air ditimbang kembali untuk menentukan perbedaan massa. Perbedaan massa air kemudian diproses untuk menentukan laju aliran massa uap, sedangkan perbedaan massa gas digunakan untuk menghitung laju konsumsi bahan bakar. Skema instalasi pengujian yang lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema pengujian alat

Metode Analisis Data

Tahap analisis data dalam penelitian ini berfokus pada penghitungan sejumlah parameter operasional utama, termasuk laju aliran massa uap, laju konsumsi bahan bakar, kehilangan panas, efisiensi *boiler*, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Untuk memperoleh laju aliran massa uap, perhitungan didasarkan pada selisih antara massa air pada awal dan akhir pengujian, yang kemudian dibagi dengan total durasi percobaan. Pendekatan perhitungan matematis yang sama juga diterapkan dalam menentukan laju aliran bahan bakar, yaitu dengan membagi selisih massa tabung gas LPG sebelum dan sesudah proses pengujian dengan seluruh rentang waktu pengoperasian perangkat. Setiap variasi pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali guna menjamin konsistensi data. Data yang disajikan dalam hasil dan pembahasan merupakan nilai rata – rata dari ketiga kali pengulangan tersebut.

Persamaan untuk menghitung laju aliran bahan bakar dapat dilihat pada persamaan (1) [5]

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\text{Massa awal LPG} - \text{Massa akhir LPG}}{\text{Lama waktu pengujian}} \quad (1)$$

Persamaan untuk menghitung laju aliran uap dapat dilihat pada persamaan (2) [6]

$$\dot{m}_{uap} = \frac{\text{Massa awal air} - \text{Massa akhir air}}{\text{Lama waktu pengujian}} \quad (2)$$

Persamaan untuk menghitung *heat loss* dapat dilihat pada persamaan (3) dan (4) [7]

$$Q_{\text{loss}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{total}}} \quad (3)$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{Konduksi}} + R_{\text{Konveksi}} + R_{\text{Radiasi}} \quad (4)$$

Persamaan untuk menghitung efisiensi *boiler* dapat dilihat pada persamaan (5) [8]

$$\eta_{\text{Boiler}} = \frac{\dot{m}_{uap}(h_g - h_f)}{\dot{m}_{bb} \times \text{LHV}} \times 100\% \quad (5)$$

Persamaan untuk menghitung *specific fuel consumption* dapat dilihat pada persamaan (6) [9]

$$\text{SFC} = \frac{\dot{m}_{bb}}{\dot{m}_{uap}} \quad (6)$$

Persamaan untuk menghitung standar deviasi dapat dilihat pada persamaan (7) [10]

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

Persamaan untuk menghitung koefisien variasi dapat dilihat pada persamaan (8) [11]

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Laju Aliran Massa Uap dan Bahan Bakar

Berdasarkan hasil pengukuran, pemasangan isolator terbukti meningkatkan massa uap yang dihasilkan selama proses pengujian. Peningkatan ini terjadi karena energi panas dari pembakaran bahan bakar dapat dimanfaatkan secara lebih optimal untuk mengubah air menjadi uap. Dengan lapisan isolasi, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai fase uap jauh lebih singkat dibandingkan dengan kondisi operasi tanpa isolator. Sebagai dampak positif dari efisiensi pemanasan ini, konsumsi bahan bakar juga jauh lebih ekonomis. Rincian lebih lengkap mengenai perbandingan data pengujian dapat dilihat langsung pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengukuran laju aliran massa uap dan bahan bakar

Pengujian	Laju Aliran Massa Uap (kg/s)	Laju Aliran Bahan Bakar (kg/s)
Tanpa Isolator	0,00189	0,000172
Ceramic Fiber 25mm	0,00234	0,000169
Ceramic Fiber 50mm	0,00246	0,000159
Rockwool 25mm	0,00203	0,000171

Pada Tabel 1 tersebut dapat dilihat pada kondisi tanpa isolator laju aliran massa uapnya sebesar 0,00189 kg/s. Nilai tersebut meningkat menjadi 0,00234 kg/s pada kondisi menggunakan isolator *ceramic fiber* dengan ketebalan 25 mm dan puncaknya terjadi pada kondisi pengujian menggunakan isolator *ceramic fiber* dengan ketebalan 50 mm dengan nilai laju aliran massa uap 0,00246 kg/s. Nilai tersebut berbanding terbalik dengan nilai laju aliran bahan bakar, yang dimana semakin tebal penggunaan isolator maka konsumsi bahan bakar akan semakin sedikit dan laju aliran massa uap akan semakin besar.

Suhu Opsional Boiler

Berdasarkan hasil pengujian pada setiap variasi dari ketebalan isolator, diperoleh hasil dari suhu opsional boiler. Rincian lengkap pengukuran suhu untuk setiap variasi dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 2.

Tabel 2 Temperatur opsional boiler

Pengujian	Suhu Dinding Boiler	Suhu Cover Boiler	Suhu Isolator	Suhu Alumunium	Suhu Lingkungan
Tanpa Isolator	227,75 °C	174,08 °C	-	-	48,84
Isolator Ceramic Fiber (25mm)	282,05 °C	219,69 °C	127,50 °C	110,43 °C	38,94 °C
Isolator Ceramic Fiber (50mm)	305,12 °C	243,01 °C	107,58 °C	72,15 °C	35,69 °C
Rockwool	267,73 °C	227,89 °C	179,40 °C	134,12 °C	43,06 °C

Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa penggunaan isolator terbukti efektif dalam menurunkan nilai dari heat loss pada boiler. Pada boiler tanpa isolator dapat dilihat pada temperatur terluar dari boiler yang masih tinggi dengan nilai 174,08 °C, lalu pada kondisi pengujian dengan menggunakan isolator ceramic fiber 25 mm temperatur terluar dari boiler yaitu 110,43 °C, dan puncaknya pada kondisi pengujian menggunakan isolator ceramic fiber dengan ketebalan 50 mm memiliki temperatur terluar dari boiler yaitu 72,15 °C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan isolator dapat menahan kehilangan panas dari boiler menuju lingkungan

Perhitungan Standar Deviasi dan Koefisien Variasi

Standar deviasi atau simpangan baku merupakan suatu nilai yang menunjukkan tingkat variasi kelompok atau ukuran standar penyimpangan dari rata – ratanya. Fungsi dari standar deviasi ini untuk mengetahui seberapa besar tingkat penyebaran atau variasi data [10].

Koefisien variasi adalah ukuran statistik yang digunakan untuk mengukur tingkat relatif dari variasi atau ukuran penyebaran data dalam suatu kelompok data. Koefisien variasi dinyatakan dalam persentase dengan membandingkan standar deviasi dengan rata – ratanya. Berikut adalah persamaan dari koefisien variasi (CV) [11].

Tabel 3 Perhitungan standar deviasi dan koefisien variasi

Pengujian	Standar Deviasi		Koefisien Variasi	
	Arduino	Alat Ukur	Arduino	Alat Ukur
Cover Boiler (Tanpa Isolator)	6,76	7,41	4%	4%
Alumunium (Ceramic fiber ketebalan 25 mm)	16,15	16,23	15%	15%
Alumunium (Ceramic fiber ketebalan 50 mm)	12,15	11,91	17%	16%
Alumunium (rockwool ketebalan 25 mm)	20,48	21,30	15%	16%
Rata – Rata	13,89	14,21	13%	13%

Berdasarkan Tabel 3, rata – rata hasil pengukuran temperatur antara instrument berbasis arduino dan alat ukur memiliki selisih yang cukup kecil. Sebagai contoh, pada pengujian cover boiler, arduino membaca temperatur dengan nilai 176,22 °C, sedangkan alat ukur membaca suhu dengan nilai 180,26 °C. Kecilnya selisih ini membuktikan bahwa sensor suhu pada instrument arduino memiliki tingkat akurasi yang sesuai.

Nilai standar deviasi temperatur pada cover boiler tergolong rendah, yaitu 6,76 untuk sensor arduino dan 7,41 untuk alat ukur, dengan koefisien variasi pada kondisi tanpa isolator masing-masing sebesar 4%. Nilai koefisien yang rendah ini menunjukkan tingginya tingkat homogenitas data, di mana penyimpangan temperatur sangat kecil terhadap nilai rata-ratanya. Kestabilan sebaran data ini dipengaruhi oleh posisi sensor pada cover boiler yang terpapar sumber panas secara langsung. Karena pengujian dilakukan tanpa isolator, laju perpindahan panas ke permukaan luar berlangsung cepat dan merata. Akibatnya, temperatur pada permukaan cover boiler dapat dengan cepat mencapai kondisi yang stabil.

Nilai standar deviasi temperatur pada kondisi pengujian menggunakan isolator dengan lapisan terluar itu

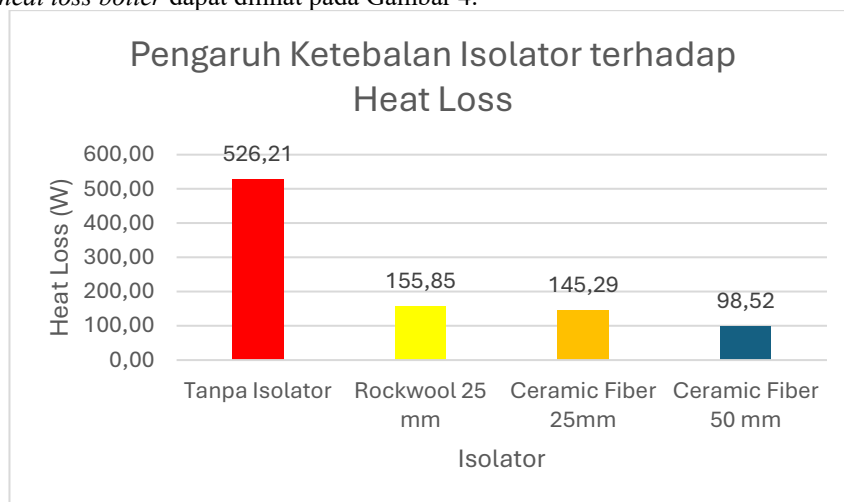
Patrick Geovani Sitorus, et al/Prosiding A/B Semnas Mesin PNJ (2026)

menggunakan alumunium foil *bubble* tergolong sedang dengan nilai standar deviasinya itu 12,15 – 20,48 untuk sensor temperatur menggunakan arduino dan 11,91 – 21,30 untuk alat ukur, dengan nilai koefisien variasinya adalah 15% - 17% untuk temperatur menggunakan arduino dan 15% - 16% menggunakan alat ukur standar. Nilai koefisien yang sedang ini menandakan bahwa tingkat variasi relatif dalam data masih cukup terkendali. Hal tersebut merupakan bukti fisik bahwa isolator yang berfungsi sebagai tahanan termal bekerja dengan baik, laju konduksi panas dari dalam *boiler* menuju udara lingkungan telah diredam panasnya menggunakan isolator *ceramic fiber* dan *rockwool*. Menurunnya intensitas panas ini membuat temperatur permukaan luar menjadi lebih mudah dipengaruhi oleh temperatur udara lingkungan. Selain itu, alumunium foil *bubble* dapat mempengaruhi nilai dari standar deviasi dan nilai dari koefisien variasi, karena struktur dari alumunium foil *bubble* memiliki rongga udara yang membuat panas tidak menyebar secara langsung.

Dengan demikian, hasil dari rata – rata standar deviasi dengan nilai 13,89 untuk temperatur arduino dan 14,21 untuk alat ukur, dengan koefisien variasi rata – rata untuk temperatur arduino dan alat ukur bernilai 13%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa tingkat penyebaran data masih cenderung homogen dan memiliki sedikit variasi relatif terhadap rata – ratanya. Dengan nilai rata – rata koefisien variasi dibawah 15% biasanya memiliki konsistensi dan relatif stabil.

Pengaruh Ketebalan Isolator terhadap *Heat Loss*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh hasil dari pengaruh variasi ketebalan isolator terhadap *heat loss boiler* dapat dilihat pada Gambar 4.

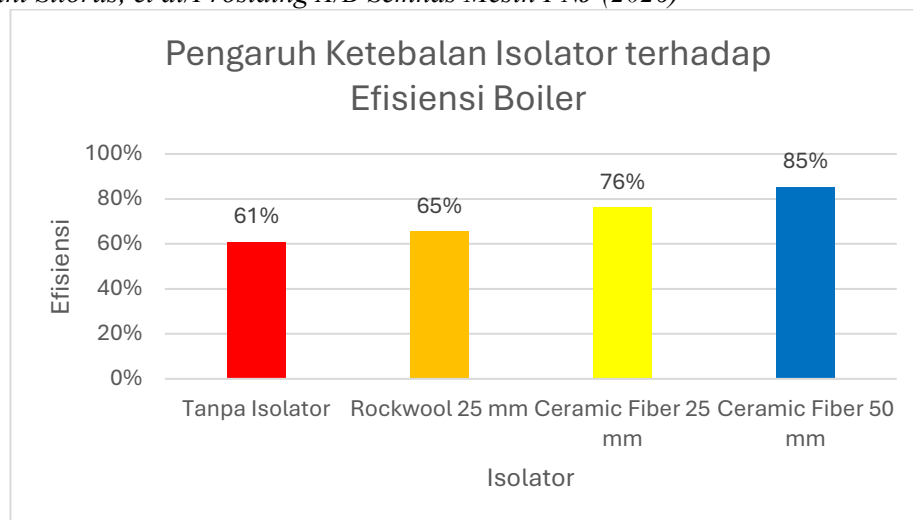


Gambar 4 Pengaruh ketebalan isolator terhadap *heat loss*

Heat Loss tertinggi terjadi pada kondisi pengujian tanpa isolator dengan nilai *heat loss* 526,21 W. Setelah pemasangan isolator menggunakan *rockwool* dengan ketebalan 25 mm, nilai dari *heat loss* turun menjadi 155,85 W, *heat loss* dengan kondisi pengujian *ceramic fiber* dengan ketebalan 25 mm bernilai 145,29 W, dan pada kondisi pengujian *ceramic fiber* 50 mm nilai *heat loss boiler* bernilai 98,52 W, hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan isolator mampu menambahkan hambatan termal yang baik, sehingga *heat loss boiler* menuju udara lingkungan semakin kecil. Pada kondisi yang sama dengan ketebalan yang sama yaitu antara *ceramic fiber* dan *rockwool* dengan ketebalan 25 mm, nilai dari tahanan termal *ceramic fiber* lebih unggul dibandingkan dengan *rockwool* sehingga nilai *heat loss* dari *ceramic fiber* lebih rendah dibandingkan dengan *rockwool*, hal tersebut disebabkan karena perbedaan nilai dari konduktivitas termal *rockwool* yang lebih besar yaitu 0,045 W/m. K dibandingkan *ceramic fiber* dengan nilai konduktivitas termal 0,037 W/m.K.

Pengaruh Ketebalan Isolator terhadap Efisiensi *Boiler*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh hasil dari pengaruh variasi ketebalan isolator terhadap efisiensi *boiler* dapat dilihat pada Gambar 5.

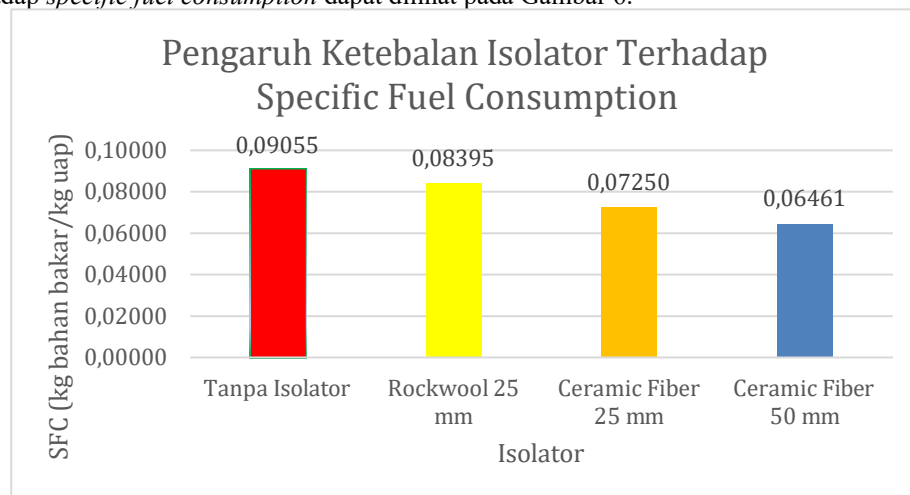


Gambar 5 Pengaruh ketebalan isolator terhadap efisiensi boiler

Berdasarkan Gambar 5 efisiensi terendah terjadi pada kondisi pengujian *boiler* tanpa isolator dengan nilai 61%, hal tersebut terjadi dikarenakan *heat loss* dari *boiler* tanpa isolator paling tinggi dibandingkan dengan kondisi pengujian menggunakan isolator. Nilai efisiensi *boiler* tertinggi terjadi pada kondisi pengujian *boiler* menggunakan isolator *ceramic fiber* dengan ketebalan 50 mm dengan nilai 85%. Lalu pada kondisi pengujian yang sama antara *rockwool* dan *ceramic fiber* dengan ketebalan yang sama yaitu 25 mm, dengan masing – masing nilai efisiensinya yaitu 65% dan 76%, hal tersebut dapat disimpulkan bahwa walaupun dengan ketebalan yang sama *ceramic fiber* lebih diunggulkan. Nilai efisiensi *boiler* pada penggunaan kedua material tersebut berbeda disebabkan karena nilai konduktivitas dari masing – masing material berbeda yaitu konduktivitas termal dari *ceramic fiber* bernilai 0,037 W/m.K, sedangkan untuk material *rockwool* memiliki nilai konduktivitas termal 0,045 W/m.K. Perbedaan nilai konduktivitas termal tersebutlah yang menyebabkan efisiensi *boiler* meningkatkan, karena semakin besar hambatan termal maka energi yang dimanfaatkan akan semakin banyak, sehingga efisiensi *boiler* akan meningkat.

Pengaruh Ketebalan Isolator terhadap *Specific Fuel Consumption*

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diperoleh hasil dari pengaruh variasi ketebalan isolator terhadap *specific fuel consumption* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengaruh ketebalan isolator terhadap *specific fuel consumption*

Berdasarkan Gambar 6 *specific fuel consumption* tertinggi berada pada kondisi pengujian *boiler* tanpa menggunakan isolator dengan nilai 0,09055 kg bahan bakar/kg uap, angka tersebut mengartikan bahwa untuk menghasilkan 1 kg uap dibutuhkan 0,09055 kg bahan bakar, jika dibandingkan dengan kondisi pengujian menggunakan isolator, angka 0,09055 kg bahan bakar/kg uap dapat dikatakan boros penggunaan bahan bakar. Nilai dari *specific fuel consumption* terendah terjadi pada kondisi pengujian menggunakan isolator *ceramic fiber* ketebalan 50 mm dengan nilai SFC 0,06461 kg bahan bakar/kg uap. Pada kondisi pengujian yang sama yaitu antara *rockwool* dan *ceramic fiber* dengan kondisi pengujian pada ketebalan 25 mm, hasil menunjukkan bahwa *ceramic fiber* lebih unggul dibandingkan dengan *rockwool* dengan nilai SFC pada masing – masing isolator yaitu 0,08395 kg bahan bakar/kg uap dan 0,07250 kg bahan bakar/kg uap.

Nilai dari *specific fuel consumption* yang berbeda – beda dari setiap pengujian tidak lepas dari peran isolator yang digunakan serta nilai konduktivitas termal dari masing – masing isolator, yang dimana semakin besar nilai hambatan termalnya maka energi yang digunakan akan semakin banyak, sehingga energi dari bahan bakar yang di supply ke *boiler* dapat dimanfaatkan dengan lebih baik, maka dari itu nilai dari *specific fuel consumption* pada pengujian *ceramic fiber* 50 mm merupakan yang paling hemat dari beberapa pengujian yang lain.

Estimasi Ketebalan Optimum Isolator

Pada penelitian ini, penentuan ketebalan optimum masing-masing material isolator juga dianalisis secara teoritis berdasarkan nilai konduktivitas termal material. Berdasarkan penelitian [12], ketebalan isolator memiliki hubungan nonlinear terhadap konduktivitas termal, sehingga hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan polinomial. Persamaan polinomial yang digunakan untuk menentukan ketebalan optimum isolator adalah sebagai berikut.

$$X_{opt} = a + bk + ck^2 \quad (7)$$

Keterangan:

X_{opt} : Ketebalan optimum isolator

k: Konduktivitas termal isolator (W/m.k)

a: 0,0818

b: -2,973

c: 64,6

Tabel 4 Estimasi ketebalan optimum isolator

Material Isolator	Konduktivitas Termal (W/m.K)	Ketebalan Optimum Teoritis (mm)
Ceramic Fiber	0,037	60,2
Rockwool	0,045	78,8

Ketebalan optimum ditentukan menggunakan pendekatan teoritis, menggunakan persamaan polinomial dari penelitian [12]. Berdasarkan hasil pendekatan teoritis yang tertera pada tabel 3, diperoleh nilai ketebalan optimum teoritis dari masing – masing material isolator yaitu pada isolator *ceramic fiber* didapatkan nilai ketebalan optimum teoritisnya 60,2 mm sedangkan pada material *rockwool* ketebalan optimum teoritisnya 78,8 mm. Meskipun demikian, hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan isolator *ceramic fiber* dengan ketebalan 50 mm memberikan performa terbaik dengan penambahan ketebalan isolator dari 25 mm menjadi 50 mm dapat meningkatkan hambatan termal, sehingga kehilangan panas kelingkungan dapat ditekan secara maksimal. Penentuan ketebalan optimum teoritis ini berguna sebagai acuan bahwa walaupun penggunaan isolator itu dapat menurunkan kehilangan panas kelingkungan, apabila kehilangan panas yang diturunkan tidak lagi signifikan, hal tersebut dapat membuat biaya ekonomi semakin mahal.

Setelah didapatkan hasil dari masing – masing percobaan selanjutnya dilakukan analisis statistik dengan menggunakan metode *single-factor analysis of variance* (ANOVA), metode ini dianggap sebagai pendekatan penelitian paling andal untuk menjalankan eksperimen yang bertujuan untuk menguji atau menolak hipotesis secara matematis melalui analisis statistik dengan hasil sebagai berikut [13].

Tabel 5 Hasil pengujian dengan metode *single-factor ANOVA*

Parameter	SS Between	SS Within	df	MS Between	MS Within	F	P-Value	F crit ($\alpha=0,05$)	Keputusan
Heat Loss	346541,848	1358,620496	11	115513,9493	194,08864227	595,1607883	0,000000008652	4,35	Signifikan
Efisiensi Boiler	0,107466319	0,003208454	11	0,035822106	0,00040106	89,31929827	0,000001717879	4,07	Signifikan
SFC	0,001206382	3,07142E-05	11	0,000402127	0,00000384	104,7403964	0,000000925735	4,07	Signifikan

Hasil uji *single-factor ANOVA* menunjukkan bahwa penggunaan isolator memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ke tiga parameter kinerja yaitu *heat loss*, efisiensi termal *boiler*, dan *specific fuel consumption*, yang dimana nilai F jauh melampaui F_{crit} ($\alpha=0,05$). Dengan nilai p-value jauh dimana 0,05 pada setiap pengujian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan isolator berkontribusi secara statistik dalam menurunkan *heat loss*, meningkatkan efisiensi termal *boiler*, serta menghemat penggunaan bahan bakar, sehingga mendukung kebijakan operasional *boiler* untuk memaksimalkan efisiensi dan *cost-saving*.

4.KESIMPULAN

1. Penggunaan isolator berhasil mengurangi *heat loss* secara drastis dari 526,20 W (tanpa isolator) menjadi 155,85 W (*Rockwool* 25 mm), 145,29 W (*Ceramic Fiber* 25 mm), hingga 98,51 W (*Ceramic Fiber* 50 mm).
2. Efisiensi *boiler* meningkat seiring dengan peningkatan kualitas dan ketebalan isolator, yaitu dari 61% (tanpa isolator), menjadi 65% (*Rockwool* 25 mm), 76% (*Ceramic Fiber* 25 mm), dan tertinggi 85% (*Ceramic Fiber* 50 mm).
3. Penggunaan isolator mampu menghemat penggunaan bahan bakar yang nilainya dapat dilihat dari nilai *specific fuel consumption* dari variasi isolator, yaitu nilai 0,09055 kg bahan bakar/kg uap (tanpa isolator), 0,08414 kg bahan bakar/kg uap (*Rockwool* 25 mm), 0,07250 kg bahan bakar/kg uap (*Ceramic Fiber* 25 mm), dan 0,06461 kg/kg uap (*Ceramic Fiber* 50 mm).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan hibah kegiatan Skema Penelitian Project Based Learning (PBL) dengan nomor surat keterangan 184/DST/PL3.14/B/PT.00.03/2026 dan laboratorium konversi energi Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan fasilitas penelitian.

REFERENSI

- [1] A. Al-Ismaili, "A review on Solar Drying of Fish," *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, vol. 26, no. 2, pp. 1–9, Mar. 2021, doi: 10.53541/jams.vol26iss2pp1-9.
- [2] N. F. Caya, R. Daniar, and T. Tahdid, "Efisiensi Termal Water Tube Boiler Ditinjau Dari Rasio Udara Bahan Bakar Solar Dan Water Level Control Pada Produksi Superheated Steam," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 26, no. 3, p. 290, Dec. 2024, doi: 10.56064/jps.v26i3.1066.
- [3] D. Natalia Siahaya, A. N. Hatuwe, and J. Malakauseya, "Evaluasi Kinerja Insulasi Pipa Uap Panas Fire Tube Boiler Pada Industri Kilang Minyak Dan Gas," *Journal Mechanical Engineering*, Aug. 2024.
- [4] R. Aziz, "PENGARUH PENGGUNAAN ISOLATOR TERHADAP EFISIENSI ENERGI DAN PERFORMA PEMANASAN DALAM PROSES PRODUKSI GULA AREN," Jun. 2025.
- [5] M. A. Fauzi, Ali. M, R. Kohar, and A. Prasetyo, "PENGARUH PENGGUNAAN TUNGKU TAMBAHAN PADA KOMPOR GAS LPG TERHADAP PENGGUNAAN BAHAN BAKAR," Jan. 2025.
- [6] A. Malikul Izzat, "PERANCANGAN DAN ANALISIS KINERJA TURBIN UAP AKSIAL MELALUI SIMULASI DAN PENGUJIAN EKSPERIMENTAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP SKALA RENDAH," Jan. 2026.
- [7] Holman.J.P, "Heat Transfer 10th Edition," 2008.
- [8] M. R. Febrianto, C. D. Widiawaty, and F. Wijayanti, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Nilai Turbin Heat Rate dan Efisiensi Termal Turbin pada PLTU Cilacap," *Jurnal Mekanik Terapan*, vol. 6, no. 3, pp. 117–124, Dec. 2025, doi: 10.32722/jmt.v6i3.7610.
- [9] F. Sihombing and B. Winardi, "ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP STUDI KASUS PT. PLN PEMBANGKITAN TANJUNG JATI."
- [10] S. Febriani, "Analisis Deskriptif Standar Deviasi," 2022.
- [11] P. : Pandriadi et al., *STATISTIKA DASAR*. 2023. [Online]. Available: www.freepik.com
- [12] M. W. Muhiedeen, L. Chong Lye, M. Kassim, T. Wah Yen, and K. Teng, "Effect of Rockwool Insulation on Room Temperature Distribution," *Journal of Advanced Research in Experimental Fluid Mechanics and Heat Transfer*, vol. 3, pp. 9–15, 2021, [Online]. Available: <http://www.akademiabaru.com/submit/index.php/arefmht>
- [13] R. Pratama Putra, "OPTIMALISASI PARAMETER SETTING MATA PISAU POTONG PADA MESIN ROLL CONES MENGGUNAKAN METODE ANOVA," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri Jurnal Taguchi*, vol. 5, no. 1, pp. 2025–159, Jun. 2025, doi: 10.46306/tgc.v5i1.