



Rancang Bangun Sistem Boiler untuk Pemanas Bahan MFO 180 CST Berbasis IoT

Ady Wijaya^{1*}, Antonius Edy Kristiyono², Henna Nurdiansari³

^{1,2,3}Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: adywijaya517@gmail.com

Abstract. Research aims to design and develop a boiler system for heating Marine Fuel Oil (MFO) 180 CST by integrating Internet of Things (IoT) technology to enhance efficiency and operational monitoring. The methods used include boiler system design, selection of types and materials according to international standards, and the implementation of an optimal combustion system. IoT sensors are strategically placed to monitor key parameters such as temperature, pressure, and fluid flow in real-time. The collected data is transmitted to a cloud platform, enabling remote monitoring and automated performance analysis through a web or mobile-based application.. The research results indicate that IoT integration in the boiler system improves fuel heating efficiency, optimizes energy consumption, and facilitates easier monitoring and process control. Testing includes pressure tests, combustion efficiency, steam capacity, and material durability, with real-time monitoring to support performance analysis and early problem detection. Operational data evaluation allows for design adjustments or system settings to further enhance energy efficiency. With this innovation, the boiler system can operate more optimally, support energy efficiency, and facilitate predictive maintenance for sustainable industrial operations. The implementation of IoT in this system is expected to improve safety, effectiveness, and automation in boiler management, making it a more reliable and modern solution.

Keywords: BLYNK, Boiler, ESP32, MFO 180 CST Fuel.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem boiler untuk pemanasan bahan bakar MFO (Marine Fuel Oil) 180 CST dengan integrasi teknologi Internet of Things (IoT) guna meningkatkan efisiensi dan pemantauan operasional. Metode yang digunakan mencakup perancangan sistem boiler, pemilihan jenis dan material sesuai standar internasional, serta penerapan sistem pembakaran yang optimal. Sensor IoT dipasang pada titik strategis untuk memantau parameter penting seperti suhu, tekanan, dan aliran fluida secara *real-time*. Data yang dikumpulkan dikirim ke platform cloud, memungkinkan pemantauan jarak jauh serta analisis performa otomatis melalui aplikasi berbasis web atau mobile. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi IoT pada sistem boiler meningkatkan efisiensi pemanasan bahan bakar, optimasi konsumsi energi, serta kemudahan dalam pemantauan dan pengendalian proses. Pengujian yang dilakukan mencakup uji tekanan, efisiensi pembakaran, kapasitas steam, dan ketahanan material, yang hasilnya dapat dipantau secara *real-time* untuk mendukung analisis kinerja dan deteksi dini terhadap potensi masalah. Evaluasi data operasional memungkinkan penyesuaian desain atau pengaturan sistem guna meningkatkan efisiensi energi. Dengan inovasi ini, sistem boiler dapat beroperasi lebih optimal, mendukung efisiensi energi, serta memfasilitasi pemeliharaan prediktif untuk keberlanjutan operasional di industri. Penggunaan IoT dalam sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keamanan, efektivitas, serta otomatisasi dalam pengelolaan boiler, menjadikannya solusi yang lebih andal dan modern.

Kata Kunci: Bahan Bakar MFO 180 CST, BLYNK, Boiler, ESP32.

1. PENDAHULUAN

Boiler adalah salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit energi, baik di industri maupun sektor lainnya yang membutuhkan uap atau panas. Pada berbagai aplikasi, seperti pembangkit listrik, pemrosesan industri, dan pemanasan, *boiler* berfungsi sebagai alat konversi energi termal dari bahan bakar menjadi uap yang digunakan untuk berbagai tujuan operasional. Salah satu bahan bakar yang umum digunakan dalam sistem *boiler* adalah *Marine Fuel Oil (MFO)*, khususnya *MFO* dengan kekentalan 180 CST.

Sistem steam berfungsi untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam *boiler*. Air demineralisasi yang berasal dari sistem air umpan dialirkan ke *economizer* untuk pemanasan awal, sehingga meningkatkan efisiensi *steam* pada *boiler*. Setelah dipanaskan, *steam* dialirkan melalui sistem pemipaan menuju titik pengguna. Di sepanjang sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan, memastikan distribusi *steam* yang efisien. Sistem bahan bakar mencakup semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan panas. *Boiler* didesain sedemikian rupa agar dapat memaksimalkan jumlah panas yang dihasilkan, memastikan operasi yang efisien serta penggunaan bahan bakar yang optimal (Oktaviani Eva, 2023).

Marine Fuel Oil (MFO) 180 CST merupakan jenis bahan bakar yang digunakan untuk mesin diesel dan boiler pada industri besar serta kapal. Karena kekentalannya yang tinggi, *MFO* 180 CST memerlukan perlakuan khusus sebelum digunakan, terutama pada tahap pemanasan. Pada suhu kamar, bahan bakar ini cenderung sangat kental, sehingga tidak dapat dipompa atau diatomisasi dengan efektif untuk pembakaran yang efisien. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemanas yang mampu menurunkan kekentalan bahan bakar ke tingkat yang optimal sebelum masuk ke dalam proses pembakaran di *boiler*.

Penggunaan sistem pemanas untuk *MFO* bertujuan agar bahan bakar memiliki viskositas yang tepat saat mencapai ruang bakar *boiler*, yang biasanya memerlukan suhu sekitar 100-120°C. Dengan pemanasan yang memadai, efisiensi pembakaran dapat meningkat dan risiko penyumbatan saluran bahan bakar atau kerusakan komponen *boiler* dapat diminimalkan. Oleh karena itu, rancang bangun sistem *boiler* yang efektif untuk pemanas bahan bakar *MFO* 180 CST memerlukan perancangan yang mempertimbangkan parameter seperti kapasitas pemanasan, kecepatan aliran bahan bakar, serta kontrol suhu yang tepat.

Dalam konteks ini, perancangan sistem *boiler* pemanas bahan bakar *MFO* 180 CST juga harus mempertimbangkan kebutuhan energi, aspek keamanan, dan efisiensi operasi. Pemilihan jenis *boiler* yang sesuai, metode pemanasan (seperti pemanas listrik atau uap), serta

sistem kontrol otomatis sangat penting untuk memastikan bahwa bahan bakar selalu berada pada suhu dan viskositas yang sesuai. Dengan uraian latar belakang di atas maka penulis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Boiler

Boiler (Putri et al., 2021) salah satu komponen utama dalam sistem permesinan yang berfungsi untuk menghasilkan uap (steam) yang digunakan untuk berbagai keperluan. *Boiler* ini berperan penting dalam sistem tenaga dan pemanasan di kapal, terutama pada kapal-kapal besar seperti kapal *tanker*, kapal kargo, kapal pesiar, dan kapal-kapal lainnya yang membutuhkan uap sebagai sumber energi atau untuk operasi lainnya.

MFO 180 CST

MFO adalah Bahan bakar MFO 180 CST (*Marine Fuel Oil 180 centistokes*) adalah salah satu jenis bahan bakar minyak yang digunakan secara luas pada mesin kapal, terutama untuk mesin utama dan mesin bantu yang beroperasi pada kapal-kapal besar seperti kapal *tanker*, kargo, dan kapal pesiar. MFO 180 CST termasuk dalam kategori *Heavy Fuel Oil* (HFO) atau minyak bakar berat, yang merupakan bahan bakar dengan viskositas dan kandungan sulfur yang tinggi.

ESP 32

ESP 32 adalah mikrokontroler yang dikenal karena kemampuannya dalam berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT). Dengan prosesor *dual-core* atau *single-core* Xtensa LX6 hingga 240 MHz, ESP32 memiliki daya pemrosesan yang cukup besar. Selain itu, fitur *Wi-Fi* dan *Bluetooth* terintegrasi, serta kemampuan komputasi yang mumpuni membuatnya digunakan dalam aplikasi IoT, *smart home*, sensor jaringan, dan perangkat embedded lainnya.

Heater

Heater adalah Pemanasan bahan bakar yang berkelanjutan diperlukan untuk menjaga kekentalan atau viskositasnya dalam kisaran yang diinginkan. Tersedianya pemanas bahan bakar atau heater terdapat tujuan tertentu yaitu untuk menurunkan tingkat viskositas atau kekentalan sehingga dapat mengalir dengan lancar pada pipa-pipa bahan bakar.

Pipa Tembaga

Pipa tembaga adalah komponen penting dalam sistem distribusi uap panas karena kemampuan konduktivitas termal yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan daya tahan mekanis. Karakteristik pipa tembaga termasuk konduktivitas termal tinggi, ketahanan korosi, daya tahan, dan fleksibilitas dalam desain sistem. Proses instalasi mencakup perencanaan, pemotongan, pembengkokan, pengelasan, dan pengujian untuk memastikan ketahanan terhadap tekanan uap. Aplikasi pipa tembaga meliputi, sistem pemanas, pembangkit listrik, dan industri pengolahan.

Plat

Plat tangki *prototipe* untuk penyimpanan MFO 180 CST, pemilihan material plat yang digunakan sangat penting. Material plat harus memiliki ketahanan terhadap korosi akibat sifat kimia bahan bakar, mampu menahan tekanan yang dihasilkan oleh volume bahan bakar yang besar, serta tahan terhadap variasi suhu yang sering terjadi, mengingat bahan bakar ini harus dipanaskan untuk mencapai viskositas yang lebih rendah sebelum digunakan.

Valve adalah komponen penting dalam sistem perpipaan untuk mengatur aliran cairan atau gas. *Valve* ini terbuat dari tembaga, yang memiliki ketahanan tinggi terhadap karat dan degradasi serta konduktivitas termal yang baik. Ada beberapa jenis *valve* tembaga, seperti *Gate Valve*, *Ball Valve*, *Check Valve*, dan *Globe Valve*, masing-masing dengan fungsi dan mekanisme yang berbeda.

Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang sering digunakan karena akurasi tinggi dan kemudahan penggunaannya. Sensor ini memanfaatkan protokol *1-Wire*, sehingga hanya membutuhkan satu jalur data dan *ground* untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler. DS18B20 dapat mengukur suhu dalam rentang -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang 10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$. Cara kerjanya melibatkan pengiriman perintah dari mikrokontroler untuk memulai pengukuran suhu, kemudian sensor mengirimkan data suhu kembali dalam format digital melalui jalur komunikasi *1-Wire*.

Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sensor yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan suatu benda dengan mengukur jarak antara sensor dan objek tersebut. Gelombang ultrasonik, yang memiliki frekuensi sekitar 20.000 Hz, tidak bisa didengar oleh

telinga manusia, tetapi dapat didengar oleh beberapa hewan seperti anjing, kelelawar, dan kucing. Gelombang ini dapat merambat melalui media cair, padat, dan gas, namun media cair dianggap sebagai penghantar terbaik dibandingkan dengan padat dan gas.

Pump

Pengoperasian pompa untuk mengisi air di *boiler* kapal melibatkan beberapa tahapan untuk memastikan air di dalam *boiler* selalu berada pada level yang aman dan optimal. Proses ini dilakukan dengan pengawasan otomatis menggunakan sensor, seperti sensor ultrasonik, dan pengaturan sistem pompa air yang terintegrasi dengan kontroler. Langkah-langkah umum dari metodologi ini meliputi pengukuran level air dalam *boiler*, aktivasi pompa pengisian, regulasi tekanan dan aliran air, pemantauan tekanan umpan air, penghentian pompa otomatis, proteksi dan *alarm* keamanan, pengelolaan kondensat, sirkulasi dan pemanasan air, serta *maintenance* dan pengawasan rutin.

Blynk

Blynk adalah sebuah platform *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam mengendalikan, memantau, dan mengotomatisasi perangkat keras dari jarak jauh melalui aplikasi seluler atau web. Platform ini mendukung berbagai mikrokontroler dan modul komunikasi seperti Arduino, ESP8266, ESP32, *Raspberry Pi*, dan lainnya. *Blynk* bekerja dengan menghubungkan perangkat ke server melalui jaringan internet menggunakan protokol seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, atau *Ethernet*. Dalam ekosistemnya, *Blynk* terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *Blynk App*, yang berfungsi sebagai antarmuka grafis untuk pengguna; *Blynk Server*, yang mengelola komunikasi antara aplikasi dan perangkat; serta *Blynk Library*, yang digunakan untuk menghubungkan perangkat keras dengan platform *Blynk*.

3. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem *boiler* mencakup penetapan spesifikasi, pemilihan jenis *boiler*, perancangan dimensi, dan sistem pembakaran. Selain itu, teknologi IoT diintegrasikan untuk memantau parameter penting seperti tekanan, suhu, aliran fluida, serta efisiensi pembakaran secara otomatis dan terus-menerus. Pengujian dilakukan secara menyeluruh, meliputi uji tekanan, kinerja pembakaran, kapasitas *steam*, dan ketahanan material. Dengan penerapan IoT, pengujian kinerja juga dapat dimonitor secara *realtime* melalui aplikasi atau *dashboard* khusus, memungkinkan operator untuk melakukan analisis performa lebih cepat dan mendeteksi potensi masalah secara dini. Data yang dikumpulkan melalui sistem IoT dievaluasi untuk

menilai performa *boiler* dalam berbagai kondisi operasional. Pengujian pada penelitian ini menggunakan uji statis dan dinamis.

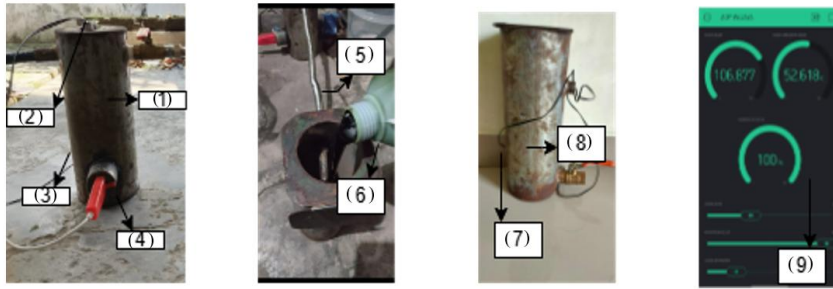
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Implementasi sistem *boiler* untuk pemanasan bahan bakar (MFO) *Marine Fuel Oil* 180 CST dengan menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT). Aplikasi monitoring berbasis web atau *mobile*, yang memberikan pengguna akses untuk mengontrol serta memantau suhu dan tekanan *boiler* secara *real-time* dilakukan dengan beberapa tahapan. Pertama dilakukan persiapan perangkat keras, dimana komponen utama yaitu ESP32 dan sensor diintegrasikan sesuai desain. Seluruh koneksi perangkat keras dirakit untuk memastikan stabilitas dan keamanan sistem. Selanjutnya perangkat lunak dikembangkan menggunakan arduino yang mana nantinya untuk bisa menghubungkan dengan aplikasi monitoring jarak jauh yaitu blynk. Tahap berikutnya adalah pengujian sistem, dimana perangkat keras dan perangkat lunak diuji untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik, pengujian terbagi dua bagian yaitu pengujian statis dan dinamis. Pengujian statis dilakukan untuk menguji setiap komponen untuk memastikan setiap komponennya berfungsi dengan baik, dengan menguji ESP32, aplikasi blynk untuk memonitoring *heater boiler*, kapasitas *boiler*, dan *heater* bahan bakar tanki MFO 180 CST, kemudian pengujian *steam* pada tanki *boiler* dan *steam* pemanas untuk bahan bakar MFO 180 CST, yang bertujuan penulis dapat mengambil kesimpulan bahwa komponen dapat berjalan dengan normal dan dapat bekerja dengan semestinya. Yang kedua adalah pengujian dinamis. Pengujian dinamis dilakukan untuk menguji prototipe dari komponen-komponen yang telah diintegrasikan menjadi satu kemudian dilakukan pengujian untuk pengambilan data yang nantinya akan disajikan, dianalisa, dan disimpulkan.

Perakitan Komponen

Proses perakitan komponen adalah tahap sangat penting dalam pembuatan alat, di mana berbagai part bagian dirakit menjadi satu kesatuan sesuai dengan alat yang dirakit. Dalam proses ini membutuhkan ketelitian dan keahlian yang sangat tinggi untuk memastikan setiap komponen yang digunakan terpasang dengan benar sehingga alat dapat bekerja secara optimal. Selain itu menguji kualitas pada setiap part komponen untuk memastikan seluruh komponen bekerja dengan baik.



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 1. Bagian alat

Keterangan :

- 1) *Boiler*
- 2) Sensor Ultrasonik
- 3) Sensor DS18B20
- 4) *Heater*
- 5) Pipa Tembaga
- 6) Bahan bakar MFO 180 CST
- 7) Sensor DS18B20
- 8) Tanki bahan bakar MFO 180 CST
- 9) BLYNK

Pengujian Statis

Pengujian aplikasi BLYNK

Pengujian ini menggunakan aplikasi BLYNK untuk memastikan fungsi monitoring dan kontrol pada *steam boiler* untuk pemanas bahan bakar MFO 180 CST fungsi aplikasi BLYNK dapat mengontrol dan memantau sistem dengan jarak jauh.



Sumber : Dokumentasi Pribadi (2024)

Gambar 2. Pengujian Aplikasi BLYNK

Pada pengujian software blynk yang terhubung *wireless* dengan ESP32, kemudian pengujian ini bertujuan untuk memastikan apakah *software/aplikasi* blynk ini bekerja sesuai dengan fungsinya yang mana dapat memonitoring dan mengontrol *heater boiler*, kapasitas *boiler*, dan *heater* bahan bakar tanki MFO 180 CST, pengujian dilakukan dengan memulai dengan tombol *start* dan di akhiri dengan *stop* apabila sistem sudah mencapai poin yang sudah di tentukan.

Pengujian Sensor DS18B20 di tanki bahan bakar MFO 180 CST

Pengujian sensor DS18B20 ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai suhu dengan cara mebandingkan suhu di luar tanki bahan MFO 180 CST menggunakan *thermo gun*.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3. Pengujian sensor suhu di luar tanki bahan bakar

Tabel 1. Rencana Pengujian

NO	Komponen	Jumlah Komponen	Keterangan
1	ESP32	1	BAIK
2	Sensor Ultrasonik	1	BAIK
3	Sensor DS18B20	2	BAIK
4	Heater	1	BAIK
5	BLYNK	1	BAIK

Sumber : Dokumen Pribadi

Tabel 1 menunjukkan komponen yang digunakan dalam sistem *boiler* untuk pemanasan *Marine Fuel Oil* (MFO) 180 CST berbasis IoT. ESP32 berperan sebagai mikrokontroler utama untuk mengontrol dan menghubungkan sistem ke platform IoT. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur level bahan bakar, sementara sensor DS18B20 memantau suhu pemanasan. Heater berfungsi sebagai elemen pemanas utama, dan BLYNK digunakan untuk pemantauan serta pengendalian jarak jauh. Sistem ini memungkinkan pemantauan *real-time*.

Pengujian Dinamis

Pengujian akan dilakukan dengan menguji kinerja alat prototipe dengan menguji keefektifan kinerja dari alat steam untuk pemanas bahan bakar MFO 180 CST dapat bekerja secara optimal.



Sumber : Dokumentasi Pribadi (2024)

Gambar 4. Pengujian Pada Steam Untuk Pemanas Bahan Bakar

Tabel 2. Pengujian Steam Pemanas bahan bakar MFO 180 CST

Percobaan Suhu Steam Pada Tanki Boiler	Bahan Bakar	Suhu Tanki (°C)
Suhu Steam 70°C	MFO 180 CST	29,6°C
Suhu Steam 80°C	MFO 180 CST	41,6°C
Suhu Steam 100°C	MFO 180 CST	50,1°C

Sumber : Dokumen Pribadi

Pengujian *steam* terhadap bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) 180 CST bertujuan untuk meningkatkan suhu pada bahan bakar MFO 180 CST, sehingga aliran bahan bakar MFO 180 CST menjadi lebih tidak kental dalam sistem pemanas. Dengan pemanasan menggunakan *steam* suhu MFO 180 CST dapat dinaikan, untuk uap menjadi *steam* di butuhkan suhu 80-100°C. Proses untuk uap menjadi *steam* di butuhkan waktu 3 jam untuk merubah suhu pada tanki bahan bakar MFO 180 CST.

Analisa Penelitian

Hasil penelitian dan Percobaan sistem *boiler* untuk pemanas bahan bakar MFO 180 CST berbasis IoT ini menunjukkan beberapa temuan penting. Dari segi efisiensi pemanasan, desain *heat exchanger* yang optimal memungkinkan pemanasan bahan bakar MFO 180 CST mencapai suhu target dalam waktu lebih singkat dibandingkan sistem konvensional. Selain itu, efisiensi konsumsi energi juga meningkat dengan penyesuaian bahan bakar *boiler* sesuai beban

kerja. Stabilitas temperatur juga menjadi keunggulan dalam sistem ini. Sistem kontrol otomatis berbasis IoT berhasil menjaga fluktuasi suhu dalam rentang 5°C, sehingga risiko *overheating* dapat diminimalkan. Dari segi keamanan dan keandalan, implementasi sensor tekanan dan suhu yang terhubung dengan sistem IoT berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan sistem serta mengurangi kemungkinan kegagalan operasional. Sebagai kesimpulan, rancang bangun sistem boiler untuk pemanas bahan bakar MFO 180 CST berbasis IoT ini telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi pemanasan bahan bakar serta mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Dengan adanya sistem kontrol otomatis dan desain yang optimal, operasional pemanasan bahan bakar menjadi lebih stabil, aman, dan hemat energi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data terhadap alat kendali sistem boiler untuk pemanas bahan MFO 180 CST, dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem boiler berbasis IoT untuk pemanas bahan bakar MFO 180 CST melibatkan integrasi sensor suhu, tekanan, dan level air dengan mikrokontroler atau PLC yang terhubung ke jaringan internet. Sistem ini memungkinkan pemantauan dan pengendalian boiler secara real-time melalui platform IoT, seperti dashboard berbasis web atau aplikasi seluler. Dengan teknologi IoT, data operasional dapat dikumpulkan, dianalisis, dan digunakan untuk optimasi kinerja serta deteksi dini terhadap potensi gangguan atau kerusakan. Pengembangan sistem boiler berbasis Internet of Things (IoT) bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pemanasan bahan bakar MFO 180 CST. IoT berfungsi sebagai antarmuka pengguna yang memungkinkan operator untuk memantau, mengontrol, dan menyesuaikan parameter operasional boiler dengan lebih mudah. Dengan IoT, proses pemanasan dapat dioptimalkan melalui kontrol suhu yang lebih presisi, otomatisasi sistem pemanas, serta integrasi alarm dan notifikasi untuk meningkatkan keamanan dan stabilitas operasional.

Sebagai saran, untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem boiler berbasis IoT pada kapal, diperlukan optimasi dalam pemantauan suhu dan tekanan secara real-time. Penggunaan sensor yang lebih presisi serta algoritma pengolahan data yang lebih baik dapat meningkatkan akurasi pengukuran dan respons sistem terhadap perubahan kondisi operasional. Selain itu, aspek keamanan harus diperhatikan dengan menambahkan fitur autentikasi pengguna pada aplikasi Blynk serta sistem cadangan untuk memastikan boiler tetap berfungsi meskipun terjadi gangguan jaringan atau listrik. Integrasi sistem pemanas boiler dengan sistem otomatisasi kapal juga disarankan agar pengaturan suhu bahan bakar dapat lebih adaptif terhadap kebutuhan mesin. Sistem ini juga perlu diuji dalam berbagai kondisi operasional

kapal, seperti cuaca ekstrem dan beban kerja yang bervariasi, guna memastikan keandalan dalam lingkungan maritim yang dinamis. Agar sistem dapat dioperasikan dengan baik, diperlukan pelatihan bagi operator kapal agar mereka memahami cara kerja sistem, membaca data dari aplikasi Blynk, serta melakukan troubleshooting jika terjadi gangguan. Pemeliharaan berkala juga perlu diterapkan untuk menjaga performa sistem tetap optimal dan mengurangi risiko kegagalan operasional. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, diharapkan sistem boiler berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, serta keandalan operasional kapal dalam industri maritim.

REFERENSI

- Dewi, A. K., Darussalam, A., Pujiyanto, P., Hamdani, C. N., & Septiani, N. A. (2023). Prototype of cascade level and flow control system on steam drum based on IoT. *Jurnal Infotel*, 15(2), 67–73. <https://doi.org/16.20895/infotel.v15i2.936>. Diakses pada 15 Oktober 2024
- Effendy, A. D., & Sugiarto, M. (2013). Rancang bangun boiler untuk proses pemanasan sistem uap pada industri tahu dengan menggunakan Catia V5. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(2), 5–7. <https://pop.org/11.78294/bui.v2i3>. Diakses pada 15 Oktober 2024
- Famedar, F. S., Sonhaji, & Damanik, A. (2024). Rancang bangun automatic electric oil heater sebagai pengganti thermal oil boiler berbasis IoT pada kapal bulk carrier. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, 2(3), 102–120. <https://doi.org/21.61132/globe.v2i3.465>. Diakses pada 18 Oktober 2024
- Hajar, I., Damiri, J. D., & Sitorus, B. T. M. (2022). Penggunaan PLC dan HMI dalam simulasi kendali ketinggian air. *Prosiding Seminar Nasional Energi, Kelistrikan, Teknik dan Informatika*, 3, 3. Diakses pada 18 Oktober 2024
- Hamidin, I. (2019). Saklar otomatis sistem kontrol terpadu menggunakan Arduino Uno. <https://pop.org/09.125064/lol.v2i3>. Diakses pada 20 Oktober 2024
- Kuncoro, H., & Sucipto, F. R. I. R. (2024). Rancang bangun dan pengujian boiler menggunakan metode once through kapasitas 18 kg/jam. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 5. <https://deep.page/10.71967/tiCk.v2i3.65>. Diakses pada 20 Oktober 2024
- Mahendra, B. A., & Permana, L. (2023). Rancang bangun boiler mini untuk keperluan laboratorium teknik mesin. *Jurnal Inovasi Teknik Mesin*, 7(1), 21–27. <https://doi.org/10.35067/jitm.v7i1.300>. Diakses pada 29 Oktober 2024
- Oktaviani, E., & Gunawan, G. A. H. I. (2023). Rancang bangun boiler vertikal destilasi minyak serai wangi dengan kapasitas uap 100 kg/jam. *Jurnal Teknik*, 1(2), 7–13. <https://deep.org/10.121134/globe.v2i3.465>. Diakses pada 26 Oktober 2024
- Putri, T. W. O., Mowaviq, M. I., & Hajar, I. (2021). Rancang bangun sistem kendali level air berbasis programmable logic controller dan human machine interface. *Kilat*, 10(2), 272–279. <https://doi.org/10.33322/kilat.v10i2.1315>. Diakses pada 25 Oktober 2024

- Rahmat, M. T., & Handoko, Y. (2022). Analisis penggunaan sensor suhu dan kelembaban pada boiler berbasis IoT. *Jurnal Riset Teknologi dan Inovasi*, 4(4), 201–210. <https://doi.org/10.21099/jrti.v4i4.456>. Diakses pada 29 Oktober 2024
- Santia, L., Utari, I. R., & Rahmatullah. (2019). Perhitungan efisiensi panas steam generator dengan pemanas thermal oil pada unit energy plant industri fibreboard. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(3), 75–79. <https://doi.org/08.36706/jtk.v25i3.129>. Diakses pada 24 Oktober 2024
- Susilo, H. D., & Fikri, M. R. (2020). Pengaruh pengaturan tekanan pada efisiensi pembakaran boiler. *Jurnal Teknik Energi*, 3(2), 134–141. <https://doi.org/10.78912/jte.v3i2.99>. Diakses pada 28 Oktober 2024
- Widodo, T., & Sasmita, R. (2020). Efisiensi termal sistem boiler industri skala menengah. *Jurnal Energi dan Mesin*, 8(3), 88–94. <https://doi.org/10.14756/jem.v8i3.190>. Diakses pada 27 Oktober 2024
- Wulandari, N., & Maulana, R. F. (2021). Implementasi IoT pada sistem monitoring suhu boiler berbasis ESP32. *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 5(2), 112–118. <https://doi.org/10.25047/jtie.v5i2.117>. Diakses pada 28 Oktober 2024
- Yulianto, R. A., & Nugroho, S. (2022). Desain kontrol suhu otomatis pada boiler menggunakan PID berbasis Arduino. *Jurnal Elektronika dan Kontrol Otomatis*, 6(1), 55–62. <https://doi.org/10.12345/jeko.v6i1.221>. Diakses pada 27 Oktober 2024