

Otomasi Pengaturan Suhu *Water Heater* Menggunakan Mikrokontroler dengan Media *Paraffin Wax*

Elsa Maulinda Savana^{1*}, Henna Nurdiansari², Vigih Hery Kristanto³

¹⁻³Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

E-mail: elsamaulindas@gmail.com^{1*}

Alamat: Jl. Gunung Anyar Lor No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya,
Jawa Timur, Indonesia 60294

*Korespondensi penulis

Abstract. *Water heating systems on ships play a crucial role in supporting crew comfort and operations. However, conventional systems generally operate continuously without automatic control, resulting in energy waste and high operational costs. This situation drives the need for innovation in more efficient and environmentally friendly water heater designs. This research aims to design and implement an automated water heater temperature control system based on an ESP32 microcontroller with on/off control and the use of paraffin wax as a latent heat storage medium. This design is expected to improve energy efficiency while reducing the operational costs of water heaters on ships. The research methodology includes system design, hardware assembly, and performance testing, both static and dynamic. Testing was conducted to evaluate temperature stability and energy efficiency in system conditions with and without the use of paraffin wax. The results showed that paraffin wax improved water temperature stability while reducing the frequency of heater activation. In a 24-hour test, the system without paraffin wax recorded a heater operating time of 15 hours, consuming 8.85 kWh of electricity and costing Rp11,965.20. In contrast, the Paraffin Wax system only requires 10 hours of heater operation, consumes 5.90 kWh, and costs Rp7,976.80. This demonstrates energy savings of 2.95 kWh and a cost efficiency of up to 58%. Therefore, the ESP32-based water heater automation system and heat storage using Paraffin Wax are proven to be more energy-efficient, cost-effective, and have the potential to be an innovative and environmentally friendly solution for ship operational needs.*

Keywords: *Energy Efficiency; Microcontroller; On/off Control; Paraffin Wax; Water Heater.*

Abstrak. Sistem pemanas air di kapal berperan penting dalam mendukung kenyamanan dan operasional kru. Namun, sistem konvensional umumnya bekerja secara terus-menerus tanpa pengendalian otomatis sehingga menimbulkan pemborosan energi dan biaya operasional yang tinggi. Kondisi ini mendorong perlunya inovasi dalam desain pemanas air yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem otomasi pengaturan suhu *water heater* berbasis mikrokontroler ESP32 dengan metode kontrol on/off serta pemanfaatan Paraffin Wax sebagai media penyimpan panas laten. Dengan rancangan ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi sekaligus mengurangi biaya operasional pemanas air di kapal. Metode penelitian mencakup tahapan perancangan sistem, perakitan perangkat keras, serta pengujian performa baik secara statis maupun dinamis. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan suhu dan efisiensi energi pada kondisi sistem dengan dan tanpa penggunaan Paraffin Wax. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Paraffin Wax mampu meningkatkan kestabilan suhu air sekaligus mengurangi frekuensi nyala heater. Pada pengujian selama 24 jam, sistem tanpa Paraffin Wax mencatat waktu aktif heater selama 15 jam dengan konsumsi listrik 8,85 kWh dan biaya Rp11.965,20. Sebaliknya, sistem dengan Paraffin Wax hanya membutuhkan waktu aktif heater selama 10 jam dengan konsumsi 5,90 kWh dan biaya Rp7.976,80. Hal ini membuktikan adanya penghematan energi sebesar 2,95 kWh dan efisiensi biaya hingga 58%. Dengan demikian, sistem otomasi pemanas air berbasis ESP32 dan penyimpanan panas menggunakan Paraffin Wax terbukti lebih hemat energi, efisien biaya, serta berpotensi menjadi solusi inovatif dan ramah lingkungan bagi kebutuhan operasional kapal.

Kata Kunci: *Fisiensi Energi; Kontrol On/Off; Mikrokontroler; Paraffin Wax; Water Heater.*

1. PENDAHULUAN

Sistem pemanas air merupakan salah satu fasilitas penting di kapal, baik untuk keperluan operasional maupun kebutuhan kru kapal. Di lingkungan kapal, pemanas air berperan penting untuk berbagai tujuan, seperti kebutuhan kru (mandi dan mencuci), sistem pendingin mesin, atau proses lainnya yang memerlukan air panas. Namun, tantangan utama dalam pengaturan suhu air di kapal adalah konsumsi energi yang tinggi dan kestabilan suhu yang sulit dicapai akibat kondisi lingkungan yang dinamis, seperti perubahan suhu luar dan keterbatasan sumber daya energi. Secara umum, sistem pemanas air konvensional yang digunakan di kapal memiliki kelemahan, terutama dalam hal efisiensi energi dan kontrol suhu yang presisi. Sistem ini sering kali memanfaatkan metode pemanasan terus-menerus, yang menyebabkan pemborosan energi dan meningkatkan biaya operasional(Waskito, 2021).

Untuk mengatasi masalah tersebut, teknologi pengendalian suhu otomatis berbasis kontrol *on/off* dapat diterapkan(Firdaus et al., 2024). Selain itu, penggunaan *Paraffin Wax* sebagai material penyimpan panas dapat menjadi Solusi alternatif, dengan memanfaatkan sifatnya dalam menyimpan dan melepaskan energi secara efektif. Material ini dapat membantu menjaga kestabilan suhu, terutama dalam kondisi di mana pemanas tidak aktif(Sharma et al., 2009). Penggunaan *Paraffin Wax* sebagai media penyimpanan energi termal menawarkan solusi yang inovatif dalam sistem pemanas air. *Paraffin Wax* memiliki kemampuan menyerap dan melepaskan panas secara efektif karena sifatnya sebagai bahan penyimpan energi laten. Dengan memanfaatkan material ini, sistem pemanas dapat dirancang untuk bekerja lebih efisien dan hemat energi, terutama pada kapal yang sering (Ummah, 2019)menghadapi tantangan penghematan sumber daya . *Phase Change Material* (PCM) dapat diterapkan pada berbagai jenis pemanas air , yang menggunakan berbagai konstruksi dan material tangki penyimpanan panas (Studi et al., 2021). Selain digunakan dalam tangki air, PCM juga bisa dimanfaatkan pada pipa stainless steel. Berdasarkan penelitian (Eko Kustiawan, 2018), penggunaan ½ kg PCM pada pipa kolektor pelat datar dapat meningkatkan efisiensi sistem pemanas air.(Ummah, 2019)

Penelitian ini relevan karena kebutuhan akan sistem pemanas air yang hemat energi di kapal semakin mendesak, seiring dengan meningkatnya fokus pada pengurangan emisi dan efisiensi energi di sektor maritim. Dengan memanfaatkan kontrol otomatis dan material inovatif seperti *Paraffin Wax*, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi ramah lingkungan yang dapat diimplementasikan pada kapal.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatisasi pengaturan suhu *water heater* dengan *Paraffin Wax* menggunakan kontrol *on/off* sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi dan menjaga suhu air tetap stabil. Dengan menggunakan teknologi otomatisasi, sistem ini diharapkan dapat mengurangi pemborosan energi, meningkatkan kenyamanan pengguna, serta memberikan solusi praktis dalam pengelolaan pemanas air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tubular Heater

Heater yang digunakan dalam sistem ini adalah jenis *heater* tubular. *Heater* tubular merupakan elemen pemanas berbentuk silinder yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi pemanas, baik di industri maupun rumah tangga. Elemen ini terdiri atas tabung logam—umumnya terbuat dari stainless steel atau Incoloy—yang di dalamnya terdapat kawat resistif sebagai sumber panas. Kawat tersebut dilapisi oleh isolator magnesium oksida (MgO) yang berfungsi untuk mengoptimalkan penghantaran panas sekaligus memberikan perlindungan terhadap risiko korsleting listrik (MATSUMOTO et al., 2014).

Solid State Relay (SSR) 220V

Solid State Relay (SSR) memiliki pengertian dan fungsi yang serupa dengan relay elektromekanik atau *magnetic contactor (MC)*, yaitu berperan sebagai saklar elektronik yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri sebagai alat pengendali. Namun, *relay elektromekanik* memiliki sejumlah keterbatasan dibandingkan dengan SSR, seperti usia pakai kontak yang terbatas, ukuran yang lebih besar, serta konsumsi daya yang tinggi. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, banyak produsen relay kini menawarkan SSR yang menggunakan teknologi semikonduktor modern, seperti SCR, TRIAC, atau transistor sebagai pengganti kontak mekanik. Output perangkat ini, berupa SCR, TRIAC, atau transistor, dihubungkan secara optik dengan sumber cahaya LED yang terdapat di dalam relay (Eko Kustiawan, 2018; Studi et al., 2021).

Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 digunakan untuk mendeteksi suhu air. Sensor ini dikenal memiliki akurasi yang tinggi dengan biaya yang relatif ekonomis, sehingga menjadi pilihan yang sangat disarankan. Keunggulan lainnya adalah kemampuan tahan air (*waterproof*) dan data keluaran berbentuk digital. Fitur ini sangat berguna untuk pengukuran suhu air, terutama pada jarak jauh, karena panjang kabel tidak memengaruhi akurasi data keluaran sensor (Ady Wijaya et al., 2025).

Plat *Stainless Steel*

Plat *stainless steel* digunakan sebagai media penghantar panas dari elemen pemanas menuju *Paraffin Wax* atau air. Dibandingkan tembaga, *stainless steel* memiliki ketahanan terhadap korosi, terutama di lingkungan lembap atau yang mengandung air panas. Meski konduktivitas termalnya lebih rendah dibandingkan tembaga, *stainless steel* tetap banyak dipilih karena daya tahannya yang tinggi, sifat non-toksik, dan kemampuan mempertahankan kekuatan struktural pada suhu tinggi (Santoso, 2019).

ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan sebagai penerus dari ESP8266. Salah satu perbedaan utama antara keduanya adalah jumlah *GPIO* pin (ADC/DAC) yang dimiliki. ESP32 memiliki 36 pin (18 ADC dan 2 DAC), sedangkan ESP8266 hanya memiliki 17 pin (1 ADC dan tanpa DAC). Selain itu, ESP32 telah dilengkapi dengan modul *WiFi* bawaan, memungkinkan pengguna untuk mengontrol mikrokontroler dari jarak jauh melalui jaringan internet (S et al., 2025).

LCD 16x2 I2c

Liquid Crystal Display (LCD) 16x2, merupakan salah satu jenis display elektronik yang dibuat menggunakan teknologi CMOS logic [14] yang dalam penelitian ini dimanfaatkan untuk menampilkan informasi sistem. LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah jenis media tampilan atau Display dari bahan cairan kristal sebagai penampil utama. LCD I2C 16x2 dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dengan tiap baris menampilkan 16 karakter. Di perancangan alat ini, LCD berfungsi untuk menampilkan data *voltase* dan arus yang terbaca (Fauziah et al., 2024).

Paraffin Wax

Paraffin Wax merupakan salah satu material perubahan fasa (*Phase Change Material* atau PCM) yang memiliki berbagai keunggulan, seperti densitas energi, stabilitas termal, dan rentang suhu leleh yang luas, yaitu antara 8 hingga 106°C (Nadjib et al., 2015). Keunggulan lain dari *Paraffin Wax* termasuk sifatnya yang aman, mudah diprediksi, terjangkau, dan tidak korosif. Selain itu, perubahan volumenya selama proses pencairan relatif kecil, dan tekanan uapnya dalam keadaan cair juga rendah (Ummah, 2019).

Pompa

Pompa pemanas air di tangki berfungsi untuk memindahkan air dari satu tempat ke tempat lain, terutama dalam sistem pemanas air. Pompa ini dapat membantu sirkulasi air panas dan memastikan suhu yang diinginkan tercapai secara efisien (Yudianto, 2023). Pompa air

untuk tangki *water heater* digunakan untuk memastikan pasokan air yang stabil, baik untuk mengisi tangki maupun untuk mengatur aliran air ke dalam pemanas.

Pipa *Stainless Steel*

Pipa *stainless steel* sangat cocok untuk sistem *water heater* karena tahan terhadap korosi, suhu tinggi, dan tekanan, menjadikannya andal dan tahan lama. Bahan ini juga higienis, memastikan air tetap bersih, dan memiliki daya *konduktivitas* termal yang cukup baik untuk efisiensi pemanasan. Umumnya digunakan dalam sirkulasi, distribusi air panas, dan heat exchanger, *stainless steel* grade 304 atau 316 sering menjadi pilihan karena kekuatan dan ketahanan terhadap zat kimia dalam air. Pipa ini juga dapat diisolasi untuk mengurangi kehilangan panas, sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Yudianto, 2023).

Metode *Research and Development* (R&D)

Metode *Research and Development* (R&D) adalah metode penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan dan menghasilkan produk tertentu serta menguji keefektifannya agar dapat digunakan secara luas. Menurut (Gustiani, 2019), metode ini mencakup tahapan sistematis seperti identifikasi masalah, perancangan produk, validasi, uji coba, revisi, hingga implementasi. Dalam penelitian teknik dan otomasi, metode ini cocok digunakan karena memungkinkan perancangan, pengujian, dan penyempurnaan sistem secara langsung dan terukur.

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, sistem otomasi pengaturan suhu *water heater* dengan *Paraffin Wax* menggunakan kontrol *on/off* adalah teknologi pengendalian suhu yang mengintegrasikan elemen pemanas, sensor suhu, dan *Paraffin Wax* sebagai bahan penyimpan energi termal (*phase change material*). Metode *Research and Development* (R&D) adalah suatu proses yang melibatkan langkah-langkah untuk menciptakan produk baru atau memperbaiki produk yang sudah ada. Penelitian pengembangan ini berfungsi sebagai jembatan atau penghubung antara penelitian dasar dan penelitian terapan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Statis

Hasil Pengujian Sensor DS18B20



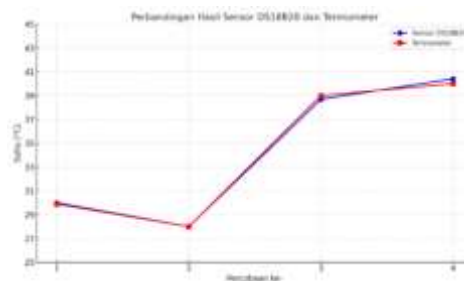
Gambar 1. Hasil Pengujian DS18B20.

Pada gambar 1 di atas merupakan pengujian sensor DS18B20 yang diuji dalam berbagai kondisi air dan menghasilkan data sebagai berikut. Dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor DS18B20.

Percobaan ke-	Sensor DS18B20 (°C)	Termometer (°C)	Selisih
1	30	29.9	+0.1
2	28	28	0
3	38.7	39	-0.3
4	40.4	40	-0.4

Dari data yang telah dicatat pada Tabel 1 di atas selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk grafik agar pola perubahan suhu dapat dianalisis dengan lebih jelas. Grafik hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Sensor DS18B2.

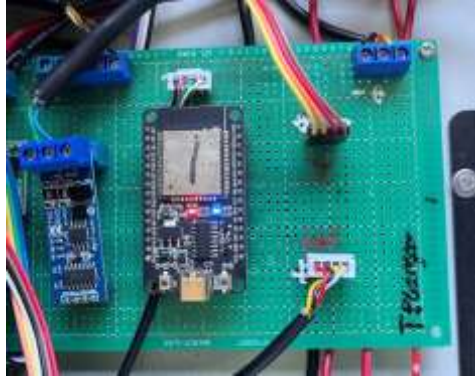
Hasil Pengujian Heater



Gambar 3. Hasil Pengujian Heater.

Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa *heater* dapat beroperasi dengan baik. Dari hasil pengujian statis yang dilakukan, diperoleh bahwa *heater* dapat menyala dan mati sesuai dengan kondisi penyambungan dan pemutusan arus listrik. Selain itu, data hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu mengalami kenaikan secara bertahap dan berbanding lurus terhadap waktu dalam satuan detik.

Hasil Pengujian ESP32



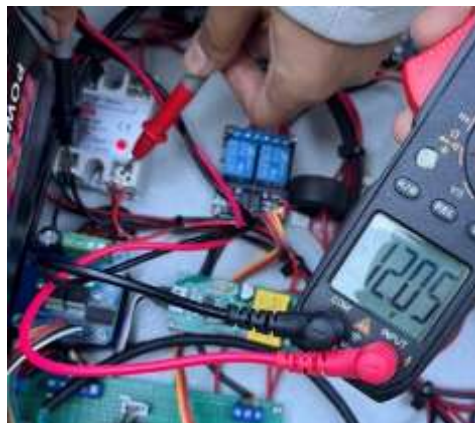
Gambar 4. Hasil Pengujian ESP32.

Hasil Pengujian LCD



Gambar 5. Hasil Pengujian LCD.

Hasil Pengujian Solid State Relay (SSR)



Gambar 6. Hasil Pengetesan SSR.

Berdasarkan gambar 6 hasil pengujian statis SSR di atas, dapat diamati bahwa SSR merespons kondisi input dengan baik, yaitu menyala saat diberi tegangan dan mati saat tidak ada tegangan. Untuk memperjelas kinerja SSR tersebut, berikut disajikan tabel 4.2 hasil pengamatan selama proses pengujian.

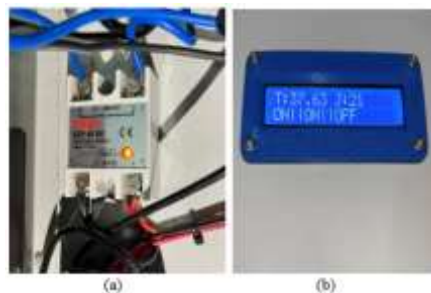
Tabel 2. Hasil Pengujian SSR.

No.	Kondisi Input(DC)	Tegangan Output (AC)	Keterangan
1.	0V (OFF)	0 Volt	SSR Tidak Aktif
2.	12V (ON)	220 Volt	SSR Aktif

Hasil Pengujian Dinamis

Hasil Pengujian Alat Keseluruhan

Sistem ini dirancang agar pemanas (*heater*) dan SSR (Solid State Relay) akan menyala (ON) jika suhu air di bawah 35°C. Sebaliknya, keduanya akan mati (OFF) secara otomatis saat suhu air mencapai atau melebihi 40°C. Selama pengujian, sensor suhu DS18B20 bertugas membaca suhu air dan mengirimkan data ke mikrokontroler ESP32. Setelah menerima data, mikrokontroler akan memprosesnya dan mengirimkan sinyal kontrol ke SSR. Ketika suhu di bawah 35°C, SSR menerima sinyal aktif dari ESP32, yang kemudian mengalirkan listrik ke pemanas untuk memanaskan air. Namun, begitu suhu mencapai 40°C, ESP32 akan mengirimkan sinyal OFF ke SSR, sehingga aliran listrik ke pemanas terputus dan proses pemanasan pun berhenti. Dapat dilihat pada gambar 4.7(a) dan (b) pengujian alat keseluruhan di bawah ini.



Gambar 7. Hasil Pengujian Alat Keseluruhan.

Hasil Pengujian Media (Tanpa Paraffin)



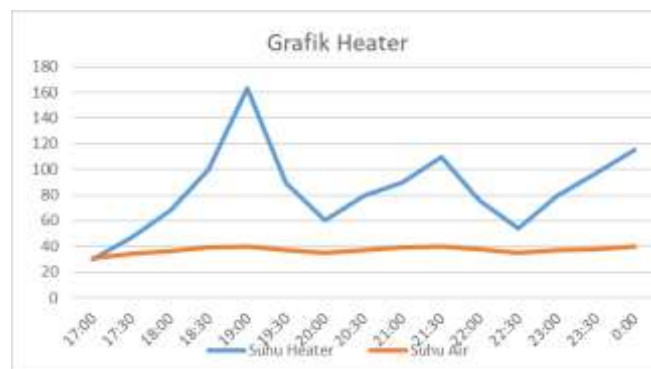
Gambar 8. Hasil Pengujian Tanpa *Paraffin Wax*.

Berdasarkan gambar 8 pengujian dinamis tanpa *Paraffin Wax* di atas, sistem *water heater* menunjukkan siklus kerja otomatis yang aktif menyesuaikan suhu air terhadap setpoint suhu yang telah ditetapkan. Untuk memperjelas data suhu dan status kerja sistem selama pengujian berlangsung, berikut disajikan table 3 hasil pengamatan di bawah ini.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Tanpa *Paraffin*.

Pengujian Tanpa <i>Paraffin Wax</i>					
No	Waktu	Suhu Heater (°C)	Suhu Pipa (°C)	Suhu Air (°C)	Ket
1	17:00	30	28	31	Heater Mulai ON
2	17:30	47	28	34	Heater ON
3	18:00	68	32	36	Heater ON
4	18:30	100	37	39	Heater ON
5	19:00	163	41	40	Heater OFF
6	19:30	89	37	37	Heater OFF
7	20:00	60	35	35	Heater ON
8	20:30	79	39	37	Heater ON
9	21:00	90	40	39	Heater ON
10	21:30	110	45	40	Heater OFF
11	22:00	76	38	38	Heater OFF
12	22:30	54	35	35	Heater ON
13	23:00	79	38	37	Heater ON
14	23:30	97	39	38	Heater ON
15	00:00	115	42	40	Heater OFF

Data yang tercantum pada tabel 3 di atas kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis terhadap pola perubahan suhu dan frekuensi kerja *heater* selama proses pengujian. Dapat dilihat pada gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Tanpa *Paraffin Wax*.

Pada gambar 9 di atas merupakan pengujian Tanpa *Paraffin Wax*, operasi Heater tidak bersifat kontinyu. Pengujian ini dilakukan selama beberapa jam secara berkelanjutan, dimulai pada pukul 17.00 hingga pukul 00.00, dengan interval pencatatan data setiap 30 menit.

Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi suhu *heater*, suhu pipa, dan suhu air, serta status operasi *heater* (ON atau OFF). Pada awal pengujian pukul 17.00, sistem pemanas dinyalakan dengan suhu awal air sebesar 31°C. Seiring waktu, suhu air meningkat secara bertahap karena proses pemanasan oleh elemen *heater*. *Heater* tetap dalam kondisi ON hingga suhu air mencapai 40°C pada pukul 19.00. Setelah suhu ini tercapai, sistem kontrol otomatis memutuskan daya ke *heater* (OFF) sebagai respons terhadap batas suhu maksimum yang telah ditentukan. *Heater* tetap dalam kondisi OFF selama ± 1 jam hingga suhu air turun mencapai batas bawah yaitu 35°C, yang terjadi pada pukul 20.00. Setelah suhu air turun, sistem kembali mengaktifkan *heater* (ON) untuk menaikkan suhu air kembali ke kisaran yang diinginkan.

Siklus ON dan OFF ini terus berulang selama proses pengujian. Secara umum, durasi *heater* dalam kondisi ON berkisar antara 1 hingga 1,5 jam, sedangkan waktu dalam kondisi OFF berada di kisaran 30 menit hingga 1 jam. Jarak waktu ini menunjukkan bahwa tanpa media penyimpan panas seperti *Paraffin Wax*, sistem harus lebih sering mengaktifkan *heater* untuk menjaga suhu air tetap stabil dalam rentang 35–40°C. Akumulasi dari siklus kerja *heater* selama 24 jam menunjukkan bahwa *heater* menyala (ON) selama 15 jam dan dalam kondisi mati (OFF) selama 9 jam.

Hasil Pengujian Media Menggunakan Paraffin Wax



Gambar 10. Pengujian Menggunakan *Paraffin Wax*.

Berdasarkan gambar 10 di atas merupakan pengujian dinamis dengan menggunakan *Paraffin Wax*, tampak bahwa sistem mampu mempertahankan suhu air lebih stabil meskipun *heater* dalam kondisi mati. Untuk mendukung analisis tersebut, berikut disajikan tabel hasil pengamatan menggunakan *Paraffin Wax*. Dapat dilihat pada table 4 di bawah ini.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Menggunakan *Paraffin Wax*

Pengujian Menggunakan <i>Paraffin Wax</i>					
Waktu	Suhu <i>Heater</i> (°C)	Suhu Pipa (°C)	Suhu <i>Paraffin</i> (°C)	Suhu Air (°C)	Ket
14.00	31	31	31	31	<i>Heater</i> Mulai ON
14.30	55	40	41	33	<i>Heater</i> ON
15.00	95	42	44	34	<i>Heater</i> ON
15.30	102	45	50	36	<i>Heater</i> ON
16.00	105	47	57	38	<i>Heater</i> ON
16.30	111	49	60	40	<i>Heater</i> OFF
17.00	70	45	58	39	<i>Heater</i> OFF
17.30	40	39	53	38	<i>Heater</i> OFF
18.00	36	35	46	36	<i>Heater</i> OFF
18.30	34	34	40	35	<i>Heater</i> Kembali ON
19.00	60	38	47	36	<i>Heater</i> ON
19.30	85	42	55	37	<i>Heater</i> ON
20.00	110	50	65	40	<i>Heater</i> Kembali OFF
20.30	90	48	60	39	<i>Heater</i> OFF
21.00	79	46	56	38	<i>Heater</i> OFF
21.30	68	40	50	37	<i>Heater</i> OFF
22.00	44	37	48	36	<i>Heater</i> OFF
22.30	34	35	44	35	<i>Heater</i> Kembali ON
23.00	57	39	49	37	<i>Heater</i> ON
23.30	86	42	52	39	<i>Heater</i> ON
00.00	98	43	57	40	<i>Heater</i> Kembali OFF

Data hasil pengamatan pada tabel 4 di atas kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis terhadap pola perubahan suhu, efektivitas penyimpanan panas oleh *Paraffin Wax*, serta durasi kerja *heater* selama pengujian. dapat dilihat pada gambar 11 di bawah ini.

**Gambar 11.** Tabel Hasil Pengujian Menggunakan *Paraffin Wax*.

Uji coba ini dilakukan pada rentang waktu pukul 14.00 hingga 00.00, dengan pencatatan data setiap 30 menit. Variabel yang diamati dalam pengujian meliputi suhu *heater*, suhu pipa, suhu *Paraffin Wax*, serta suhu air. Media *Paraffin Wax* digunakan untuk menyerap panas saat proses pemanasan berlangsung dan melepaskannya secara bertahap ketika suhu mulai menurun, sehingga diharapkan mampu mempertahankan suhu air dalam batas kerja sistem tanpa harus sering mengaktifkan *heater*. Pada awal pengujian pukul 14.00, suhu awal air, pipa, dan *Paraffin Wax* sama-sama berada di angka 31°C. *Heater* dinyalakan dan suhu air secara perlahan meningkat seiring berjalannya waktu. Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air hingga mencapai 40°C adalah sekitar 2,5 jam, yaitu hingga pukul 16.30. Pemanasan awal ini memerlukan durasi yang lebih lama karena seluruh massa *Paraffin Wax* masih dalam kondisi padat dan memerlukan energi tambahan untuk memulai proses peleburan (fase perubahan dari padat ke cair). Energi panas yang diserap oleh *Paraffin* selama fase ini relatif besar dan tidak langsung menaikkan suhu air, karena terserap terlebih dahulu untuk mencairkan material penyimpan panas tersebut.

Setelah suhu air mencapai 40°C dan sistem mematikan *heater* secara otomatis pada pukul 16.30, suhu air mulai menurun secara perlahan. Selama periode OFF antara pukul 16.30 hingga 18.30, suhu air hanya turun dari 40°C ke 35°C, menunjukkan bahwa panas yang tersimpan dalam *Paraffin Wax* dilepaskan secara bertahap dan mampu menahan penurunan suhu air. Pada pukul 18.30, *heater* kembali menyala karena suhu air telah menyentuh batas bawah sistem. Namun, durasi pemanasan pada siklus kedua lebih singkat dibandingkan pemanasan awal. Hal ini terjadi karena suhu awal air sudah berada pada 35°C dan kondisi *Paraffin Wax* tidak sepenuhnya membeku selama fase pendinginan sebelumnya. Selain itu, pada siklus pertama, *Paraffin* juga tidak sepenuhnya meleleh secara merata akibat keterbatasan waktu dan distribusi panas yang belum menyeluruh. Oleh karena itu, pada siklus kedua dan selanjutnya, *heater* tidak perlu mengeluarkan energi sebesar siklus awal, karena sebagian *Paraffin* masih berada dalam kondisi cair atau setengah cair, sehingga proses peningkatan suhu lebih cepat dan efisien.

Kemampuan *Paraffin Wax* dalam menyimpan dan melepas panas ini dapat dijelaskan melalui perhitungan kalor laten dengan rumus :

$$Q = m \times L \dots \dots \dots (1)$$

$Q = \text{Kalor (Joule)}$

$m = \text{Massa (Kg)}$

$L = \text{Kalor Laten } \left(\frac{J}{kg} \right)$

Dengan Q adalah energi yang diserap atau dilepas, m adalah massa Paraffin, dan L adalah kalor laten lebur *Paraffin* sekitar 200 kJ/kg. Untuk Massa *Paraffin* yang digunakan 4 kg, maka panas yang disimpan sesuai dengan rumus (1) di atas adalah:

$$Q = 4 \times 200 = 800 \text{ kJ}$$

Energi inilah yang membantu menjaga suhu air tetap stabil saat pemanas dalam keadaan mati.

Siklus ini terus berulang, dengan *heater* kembali menyala pada pukul 22.30 dan mati kembali pada pukul 00.00. Dengan menggunakan *Paraffin Wax*, frekuensi nyala *heater* menjadi lebih jarang dan durasinya lebih singkat dibandingkan sistem tanpa *Paraffin Wax*. Total durasi kerja *heater* dalam periode 24 jam tercatat selama 10 jam, sedangkan *heater* dalam kondisi OFF selama 14 jam.

Pembahasan Hasil

Pembahasan Hasil Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk merancang dan mengembangkan produk sistem otomatisasi pengaturan suhu *water heater* menggunakan mikrokontroler ESP32 dan media *Paraffin Wax* sebagai penyimpan panas laten. Sesuai dengan konsep metode R&D, penelitian idealnya mencakup beberapa tahapan, yaitu identifikasi masalah, perancangan produk, validasi, uji coba, revisi, dan implementasi. Namun, dalam pelaksanaannya, penelitian ini hanya melaksanakan tiga tahap awal, yaitu identifikasi masalah, perancangan produk, dan uji coba sistem, karena keterbatasan waktu dan biaya yang tersedia.

Tahap identifikasi masalah dilakukan dengan mengkaji kebutuhan efisiensi energi pada sistem pemanas air di kapal serta ketidakstabilan suhu yang umum terjadi pada sistem konvensional. Kemudian, tahap perancangan mencakup penyusunan desain sistem, pemilihan komponen, dan pemrograman mikrokontroler. Selanjutnya, sistem diuji secara statis dan dinamis untuk mengetahui kinerja alat dalam merespons perubahan suhu dan mengevaluasi peran *Paraffin Wax* sebagai media penyimpan panas. Meskipun tahapan validasi, revisi produk, dan implementasi lebih lanjut belum dilakukan, hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah mampu bekerja dengan baik dan mencapai tujuan awal penelitian, yaitu menghasilkan sistem pemanas air otomatis yang stabil dan efisien. Oleh karena itu, walaupun penelitian belum melalui seluruh tahapan R&D secara lengkap, data yang diperoleh tetap memberikan dasar kuat untuk pengembangan lebih lanjut di masa depan.

Pembahasan Hasil Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas dan efisiensi dua metode pengaturan suhu pada sistem pemanas air, yaitu menggunakan sistem pemanas konvensional tanpa media penyimpan panas dan sistem pemanas dengan tambahan media penyimpan panas berupa *Paraffin Wax*. Keduanya diuji dalam kondisi dan durasi waktu yang seragam, yaitu selama 24 jam, dengan parameter utama yang diamati meliputi lama waktu *heater* menyala (ON), lama waktu *heater* mati (OFF), dan total konsumsi daya serta biaya energi listrik yang dikeluarkan.

Pada pengujian tanpa *Paraffin Wax*, sistem pemanas hanya mengandalkan elemen pemanas untuk mempertahankan suhu air dalam rentang 35–40°C. Akibatnya, ketika suhu air mulai turun di bawah ambang batas bawah (35°C), *heater* akan langsung aktif untuk menaikkan kembali suhu air. Hal ini menyebabkan sistem bekerja dengan siklus ON/OFF yang lebih sering dan durasi ON yang lebih lama. Berdasarkan hasil pengujian, sistem tanpa *Paraffin Wax* menunjukkan total waktu kerja *heater* selama 15 jam, dan hanya 9 jam dalam kondisi OFF. Durasi yang panjang ini menunjukkan bahwa *heater* bekerja lebih keras untuk menjaga suhu air tetap stabil karena tidak adanya media yang menyimpan dan menahan panas setelah pemanasan.

Berbeda halnya dengan sistem yang menggunakan *Paraffin Wax* sebagai media penyimpan panas. *Paraffin* memiliki sifat termal yang mampu menyerap energi panas dalam bentuk laten saat meleleh, kemudian melepaskannya secara perlahan saat suhu lingkungan menurun. Pada pengujian, *Paraffin Wax* menyerap panas dari *heater* saat dalam kondisi ON, lalu membantu mempertahankan suhu air saat *heater* OFF dengan cara melepaskan panas secara bertahap. Hasilnya, sistem hanya membutuhkan waktu 10 jam dalam kondisi ON, dan 14 jam dalam kondisi OFF, yang artinya terjadi pengurangan kerja *heater* sebesar 5 jam dalam sehari. Ini merupakan peningkatan efisiensi kerja yang sangat signifikan, khususnya dalam aplikasi jangka panjang. Selain itu, terdapat perbedaan penting dalam dinamika pemanasan antara siklus pertama dan siklus selanjutnya pada sistem dengan paraffin. Pada pemanasan awal, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu target (40°C) lebih lama karena *Paraffin* masih dalam keadaan padat dan memerlukan energi tambahan untuk memulai proses peleburan (fase perubahan dari padat ke cair). Namun, pada siklus kedua dan selanjutnya, waktu pemanasan menjadi lebih singkat karena suhu awal air lebih tinggi (sekitar 35°C) dan *Paraffin* tidak sepenuhnya membeku, sehingga energi yang dibutuhkan untuk kembali mencairkan *Paraffin* jauh lebih sedikit. Hal ini memberikan keuntungan tambahan berupa penghematan waktu dan energi pada siklus berikutnya.

Selain memberikan efisiensi dari segi waktu dan energi, penggunaan media *Paraffin Wax* dalam sistem pemanas air juga terbukti memberikan dampak positif terhadap penghematan biaya operasional. Dapat dilihat pada table 4.5 dan 4.6 di bawah ini

Tabel 5. Biaya Tanpa Paraffin Wax.

Tanpa <i>Paraffin Wax</i>					
Pemakaian/24 jam	Waktu	Konsumsi Listrik (Kwh)	Total Konsumsi (Kwh)	Biaya per kwh	Total
Heater ON	15	0,59	8,85	IDR 1.352,00	IDR 11.965,20
Heater OFF	9	0	0	IDR 1.352,00	IDR -
Total					IDR 11.965,20

Tabel 5 di atas merupakan tabel biaya penggunaan heater tanpa *paraffin wax*. Selain tabel biaya, berikut terdapat juga tabel 6 presentase tanpa *Paraffin Wax* di bawah ini.

Tabel 4. Presentase Tanpa *Paraffin Wax*.

Presentase Penggunaan Heater			
Presentase Penggunaan Heater Nonstop 24 Jam	:	IDR	19.144,32
Konsumsi Pengujian Heater	:	IDR	11.965,20
Total Penghematan	:	IDR	7.179,12
Presentase Hemat	:		38%

Berdasarkan tabel 6 di atas, untuk mengetahui besarnya konsumsi daya listrik yang digunakan selama pengujian, maka digunakan rumus dasar kelistrikan sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (2)$$

$P = \text{Daya (Watt)}$

$V = \text{Tegangan (Volt)}$

$I = \text{Arus (A)}$

Berdasarkan pengujian, Heater menggunakan daya sebesar 500 Watt (0.59 kWh). Waktu pengujian tanpa *Paraffin* selama 24 jam Heater On selama 15 jam. Maka energi Listrik yang dikonsumsi bisa diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$E = (P \times t) / 1000 \quad (3)$$

$E = \text{energi listrik yang dikonsumsi (kWh)}$

$P = \text{Daya (Watt)}$

Pembagian dengan 1000 adalah untuk mengonversi Watt-jam ke Kilowatt/jam(1 kWh = 1000 Watt-jam).

$$E = 0,59 \times 15$$

$$= 8.85 \text{ kWh}$$

Untuk menghitung biaya Listrik per hari dengan tarif Listrik Rp1.352,00/ kWh sesuai dengan simulasi biaya PLN. Maka nominal yang didapat adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= E \times \text{Rp1.352,00} \\ &= \text{Rp11.965,20} \end{aligned}$$

Berdasarkan pengujian tanpa menggunakan *Paraffin Wax* selama 24 jam, *heater* menyala selama 15 jam dengan konsumsi listrik sebesar 8,85 kWh. Dengan tarif listrik Rp1.352,00 per kWh, total biaya listrik yang dibutuhkan adalah Rp11.965,20. Penggunaan sistem kontrol on/off tanpa *Paraffin Wax* sudah mampu menghemat biaya listrik sebesar Rp7.179,12 atau sekitar 38%. Artinya, walaupun belum menggunakan media penyimpanan panas, sistem ini tetap memberikan efisiensi dalam konsumsi energi. Dapat dilihat pada table 7 dan 8 di bawah ini.

Tabel 5. Biaya dengan *Paraffin Wax*.

Dengan <i>Paraffin Wax</i>						
Pemakaian/ 24 jam	Waktu	Konsumsi Listrik (Kwh)	Total Konsumsi	Biaya per kwh		Total
<i>Heater</i> ON	10	0,59	5,90	IDR	1.352,00	IDR 7.976,80
<i>Heater</i> OFF	14	0	0	IDR	1.352,00	IDR -
Total						IDR 7.976,80

Tabel 7 merupakan tabel biaya dengan *paraffin wax* selama 24 jam. Selain tabel biaya, di bawah ini terdapat juga tabel presentase dengan *Paraffin Wax* yang dapat dilihat dari tabel 4.8 di bawah.

Tabel 6. Presentase dengan *Paraffin Wax*.

Presentase Pengujian <i>Paraffin Wax</i>			
Presentase Penggunaan <i>Heater</i> Nonstop 24 Jam	:	IDR	19.144,32
Konsumsi Pengujian <i>Paraffin Wax</i>	:	IDR	7.976,80
Total Penghematan	:	IDR	11.167,52
Presentase Hemat	:		58%

Berdasarkan pengujian, *Heater* menggunakan daya sebesar 500 Watt (0.59 kWh). Waktu pengujian tanpa *Paraffin* selama 24 jam *Heater* On selama 10 jam. Maka energi Listrik yang dikonsumsi bisa diketahui dengan rumus (3) diatas :

$$\begin{aligned} E &= 0,59 \times 10 \\ &= 5,90 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Untuk menghitung biaya Listrik per hari dengan tarif Listrik Rp1.352,00/ kWh sesuai dengan simulasi biaya PLN. Maka nominal yang didapat adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= E \times \text{Rp1.352,00} \\ &= \text{Rp7.976,80} \end{aligned}$$

Pada pengujian dengan menggunakan media *Paraffin Wax*, *heater* hanya menyala selama 10 jam dalam 24 jam pengoperasian. Dengan konsumsi listrik per jam sebesar 0,59 kWh, total konsumsi energi mencapai 5,90 kWh. Jika dikalikan dengan tarif listrik Rp1.352,00 per kWh, maka total biaya listrik yang dikeluarkan sebesar Rp7.976,80. Jika dibandingkan dengan penggunaan *heater* nonstop selama 24 jam yang memerlukan biaya Rp19.144,32, maka penggunaan *Paraffin Wax* berhasil menghemat biaya sebesar Rp11.167,52 atau sekitar 58%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan *Paraffin Wax* sebagai penyimpan panas memberikan efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan pengujian tanpa media tersebut.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai otomatisasi pengaturan suhu *water heater* menggunakan mikrokontroler dengan media *Paraffin Wax*: 1) Sistem otomatisasi pengaturan suhu *water heater*, dengan kontrol on/off berbasis mikrokontroler ESP32 berhasil dirancang menggunakan metode *Metode Research and Development* (R&D) dan diimplementasikan dengan baik. Perancangan sistem ini mencakup integrasi antara sensor suhu DS18B20, mikrokontroler ESP32, solid state relay (SSR), dan elemen pemanas, yang dikendalikan melalui pemrograman logika *on/off*. Sistem bekerja secara otomatis dengan mengaktifkan *heater* saat suhu di bawah 35°C dan mematikannya saat suhu mencapai 40°C, sesuai dengan setpoint yang ditentukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan suhu secara real-time dan mengendalikan pemanas secara efektif. 2) Penggunaan *Paraffin Wax* sebagai material penyimpan panas laten terbukti efektif dan efisien dalam sistem *water heater*. Secara efektif, *Paraffin Wax* mampu menyimpan panas saat suhu tinggi dan melepaskannya secara bertahap saat suhu menurun, sehingga membantu menjaga kestabilan suhu air dalam rentang yang diinginkan meskipun *heater* tidak aktif. Dari sisi efisiensi, penggunaan *Paraffin Wax* mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional, di mana dalam pengujian selama 24 jam, sistem tanpa *Paraffin* menghabiskan Rp11.965,20, sedangkan dengan *Paraffin* hanya Rp7.976,80. Penghematan sebesar Rp3.988,40 atau sekitar 20% ini menunjukkan bahwa

Paraffin Wax tidak hanya berperan dalam menjaga performa sistem secara termal, tetapi juga mendukung penghematan energi dan biaya secara signifikan.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut agar menjadi lebih optimal: 1) Mengatasi kendala terkait kapasitas baterai kurang memadai untuk beban *heater* 500 Watt. Disarankan untuk menggunakan kapasitas baterai yang lebih besar yang mampu menopang kebutuhan daya *heater* secara optimal. 2) Memastikan penggunaan kabel dengan penampang yang sesuai dan memadai untuk menghantarkan arus listrik ke *heater* 500 Watt guna menghindari penurunan tegangan dan pemanasan berlebih pada kabel, yang dapat mengganggu kinerja sistem dan keamanan. 3) Mengoptimalkan desain *heater plate*, pipa *stainless steel*, dan penempatan *Paraffin Wax* untuk memaksimalkan transfer panas dan efisiensi penyimpanan energi termal. 4) Peneliti penggunaan jenis *Phase Change Material* (PCM) lain selain *Paraffin Wax* atau kombinasi PCM dengan aditif lain (misalnya, *silika pasir*) untuk mengetahui material mana yang memberikan efisiensi penyimpanan panas terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Fauziah, N., Munazilin, A., & Santoso, F. (2024). Rancang bangun sistem pengontrol irigasi otomatis menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1464–1473. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4343>
- Firdaus, M. L., Milah, M. Z., N. R. R. A., & Fuadin, A. (2024). Implementasi pengatur suhu dalam water heater: Meningkatkan efisiensi energi dan keamanan. *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(5), 43–48.
- Gustiani, S. (2019). Research and development (R&D) method as a model design in educational research and its alternatives. *Holistics (Hospitality and Linguistics) Jurnal Ilmiah Bahasa Inggris*, 11(2).
- Kustiawan, E. (2018). Meningkatkan efisiensi peralatan dengan menggunakan solid state relay (SSR) dalam pengaturan suhu pack pre-heating oven (PHO). *CIR Jurnal STT YUPPEN TEK*, 9(1), 1–6.
- Matsumoto, R., Tanikawa, T., Sugimoto, T., Ozawa, M., Hisazumi, Y., Hori, T., Kawai, N., Kegasa, A., Shiraga, Y., Takemori, T., & Katsuki, M. (2014). Development of water heater using tubular flame—Heat transfer characteristics on the coiled tube and the inserted tube heat exchangers. *Mechanical Engineering Journal*, 1(5), TEP0047–TEP0047. <https://doi.org/10.1299/mej.2014tep0047>
- Nadjib, M. (2016). Penggunaan paraffin wax sebagai penyimpan kalor pada pemanas air tenaga matahari thermosyphon. *Rotasi*, 18(3), 76. <https://doi.org/10.14710/rotasi.18.3.76-85>

- Okpatrioka, O. (2023). Research and development (R&D): Penelitian yang inovatif dalam pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, 1(1), 86–100. <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>
- Santoso, K. A. (2019). Analisa pengaruh laju korosi plat baja ST 40 dan stainless steel 304 terhadap larutan asam sulfat. *Majamecha*, 1(1), 24–35. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v1i1.365>
- Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005>
- Sofwan, A., Wafdulloh, Y., Akbar, M. R., Setiyono, B., Hakim, M. A., Fathoni, F., Luqman, M., Nisa Sahira, W., Afridon, M., Tumangke, M. R., Priharti, W., & Wulandari, D. S., Kirom, M. R., & A., T. A. A. (2021). Sistem kontrol suhu air menggunakan pengendali PID dan volume air pada tangki pemanas air berbasis Arduino Uno. *Gema Teknologi*, 18(2), 1–6.
- Tumangke, M. R., Priharti, W., & Silalahi, D. K. (2021). Rancang bangun sistem pemanas air fotovoltai. *Jurnal Teknologi*, 8(6), 11463–11472.
- Ummah, M. S. (2019). Analisis unjuk kerja pemanas air surya dengan aditif pasir silika pada paraffin wax sebagai material penyimpan panas laten. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14.
- Waskito, I. (2021). Studi perencanaan instalasi listrik di kapal pesiar. *Jurnal Teknik Elektro*, 1–6.
- Wijaya, A., Kristiyono, A. E., & Nurdiansari, H. (2025). Rancang bangun sistem boiler untuk pemanas bahan MFO 180 CST berbasis IoT. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan*, 3(2), 201–212. <https://doi.org/10.61132/globe.v3i2.827>
- Yudianto, H. (2023). *Dasar-dasar teknik mesin*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. https://static.buku.kemdikbud.go.id/content/buku_elektronik_kurmer/buku/teknikmesin10-v2/