

SISTEM KENDALI PERPINDAHAN OTOMATIS ENERGI *HYBRID* PLTS – GAS PADA OVEN BERBASIS *FINITE STATE MACHINE*

Afrillia Novia Dewi^{1*}, Yudi Wijanarko², Sabibal Rasyad³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Sriwijaya; Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Kota Palembang, Sumatera Selatan, 30139; 0711355918

Keywords:

Finite State Machine (FSM);
ESP32;
Automatic Transfer Switch;
Energi Hybrid; Oven.

Correspondent Email:

062240342173@student.polsri.ac.id

Abstrak. Sistem oven yang bergantung pada satu sumber energi rentan mengalami gangguan dalam proses pemanasan apabila pasokan daya tidak stabil. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini merancang sistem kontrol otomatis berbasis Finite State Machine (FSM) untuk mengelola pergantian sumber energi antara PLTS dan gas pada oven. Implementasi FSM dilakukan pada mikrokontroler ESP32 dengan memanfaatkan data tegangan baterai sebagai acuan perpindahan antara 4 kondisi operasi, yakni Initial State, Mode Heater, Pre-Switching, dan Mode Gas. Pengujian logika FSM menggunakan perangkat lunak JFLAP, kemudian dilanjutkan dengan serangkaian pengujian yang mencakup akurasi sensor tegangan, proses peralihan dari PLTS ke gas, peralihan dari gas ke PLTS, serta keefektifan sistem FSM secara menyeluruh. Seluruh skenario perpindahan antar-state berhasil tanpa kegagalan, dengan persentase keberhasilan 100%. Ketika terjadi peralihan dari PLTS ke gas, suhu oven tetap stabil, bahkan cenderung naik dari 46,2°C menjadi 46,9°C, dan mencapai puncaknya pada 47,7°C saat burner gas menyala sepenuhnya. Sementara itu, proses peralihan dari gas ke PLTS berlangsung sangat singkat dengan durasi switching hanya 0,04 ms. Dari penelitian ini metode FSM terbukti andal dalam mengotomasi perpindahan energi hibrida PLTS–gas sekaligus memastikan proses pemanasan oven tetap berjalan tanpa gangguan.



Copyright © 2026 The Author(s),
Published by Jurnal Informatika dan
Teknik Elektro Terapan. This is an
open-access article distributed under
the terms of the Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0
International License (CC BY-NC
4.0).

Abstract. If the power supply is unreliable, oven systems that depend on a single energy source may have heating disturbances. This work created a Finite State Machine (FSM)-based automatic control system to handle the oven's energy source switching between solar and gas in order to solve this problem. Using battery voltage data as a reference, the FSM implementation was implemented on an ESP32 microcontroller to transition between four working conditions, Initial State, Heater Mode, Pre-Switching, and Gas Mode. JFLAP software was used for FSM logic testing, which was followed by a number of tests that examined the voltage sensor's accuracy, the solar-to-gas transition process, the gas-to-solar transition, and the overall efficacy of the FSM system. A 100% success rate was achieved in all state transition scenarios. The oven temperature stayed steady when converting from solar to gas, even rising from 46.2°C to 46.9°C and peaking at 47.7°C when the gas burner was completely lit. In the meantime, switching from gas to solar electricity takes only 0.04 milliseconds. This study shows how the FSM method can reliably automate the hybrid solar power-gas power transfer while maintaining the ongoing oven heating process.

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan mutlak sistem pemanas termal pada satu sumber energi tunggal berisiko merusak konsistensi proses produksi dan memicu kegagalan operasional yang fatal akibat fluktuasi pasokan daya [1], [2]. Pada alat pemanas seperti oven, stabilitas suhu operasional harus dipertahankan secara terus-menerus guna menjaga kualitas hasil pemrosesan [2]. Meskipun pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) memiliki potensi besar untuk menghasilkan energi bersih, keluaran daya yang terganggu oleh cuaca membuatnya tidak dapat diandalkan sebagai sumber daya utama [1], [2], [3]. Solusi inovatif untuk menjamin kontinuitas pasokan daya yang stabil adalah menggabungkan sumber energi PLTS yang daya nya tersimpan pada baterai dengan gas dalam sistem energi hibrida [1], [2], [3].

Teknologi *Automatic Transfer Switch* (ATS) telah banyak digunakan untuk mengatur beban kritis dengan pensaklaran otomatis [4], [5], [6], [7]. Studi terbaru bahkan menggabungkan ATS dengan pemantauan *Internet of Things* (IoT) untuk melihat kinerja secara *real-time* [8], [9], [10]. Menurut Buana dkk. [2], Penerapan ATS pada PLTS *hybrid* dapat meningkatkan keandalan pasokan daya secara signifikan. Di sisi lain, Barnwal dkk. Menunjukkan metode pemilihan sumber otomatis pada ATS untuk memastikan pasokan beban penting yang disuplai dari berbagai sumber energi [11]. Semakin kompleks sistem manajemen energi *hybrid*, maka memerlukan tingkat efisiensi logika kendali yang lebih tinggi dalam mengambil keputusan terkait perpindahan sumber daya.

Keandalan listrik murni, seperti stabilitas tegangan dan arus, merupakan topik utama dalam studi ATS sebelumnya [4], [5], [11]. Namun, selama proses perpindahan sumber daya, sistem kendali tersebut biasanya mengabaikan efek penurunan suhu (termal) pada ruang oven. Salah satu kebaruan dari penelitian ini adalah penciptaan arsitektur sistem kendali perpindahan energi hibrida PLTS-gas pada alat oven. Arsitektur ini diintegrasikan secara khusus dengan logika pengambilan keputusan berbasis *Finite State Machine* (FSM). Sistem ini tidak hanya mengevaluasi dan mempertahankan kestabilan suhu oven agar proses pemanasan tidak terganggu selama perpindahan sumber energi,

tetapi juga mengotomatisasi perpindahan daya secara sekuensial melalui empat keadaan operasional untuk menjamin transisi perantara.

Tujuan penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji kinerja dinamis sistem kendali perpindahan energi hibrida PLTS-gas pada oven berbasis *Finite State Machine* (FSM), Arsitektur ini akan memastikan keandalan sekuensial perpindahan sumber sambil mempertahankan stabilitas termal ruang oven.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Hybrid

Hybrid adalah istilah yang mengacu pada penggabungan dua atau lebih sumber energi yang berasal dari sumber energi yang berbeda. Tujuan sistem *hybrid* adalah menggabungkan berbagai sumber energi sehingga kelemahan masing-masing dapat saling diatasi, sehingga dapat mencapai efisiensi pasokan dan efisiensi ekonomi pada beban tertentu [12].

2.2. Automatic Transfer Switch (ATS)

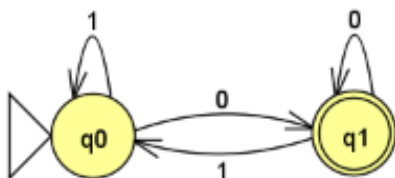
Automatic Transfer Switch (ATS) berfungsi untuk memindahkan beban dari satu sumber daya ke sumber daya lainnya. ATS secara otomatis mengganti pemasok energi menjadi energi cadangan ketika energi utama mengalami gangguan atau keterbatasannya dalam memasok energi. Ketika kondisi sumber energi utama kembali normal, ATS secara otomatis mengembalikan beban ke sumber utama [12].

2.3. Mikrokontroler ESP32

Untuk mengimplementasikan fungsi ATS secara digital tanpa bergantung pada modul pabrikan konvensional, mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai unit pemrosesan sentral tertanam [13]. Untuk memproses pembacaan data analog dari sensor, seperti sensor tegangan B25 dan sensor tekanan gas, ESP32 memiliki modul *Analog-to-Digital Converter* (ADC) internal yang responsif [14]. Selain itu, pin *General Purpose Input Output* (GPIO) yang terintegrasi pada ESP32 dapat mengirimkan sinyal digital ke aktuator eksternal, seperti modul relay pembawa beban heater dan katup solenoid gas [15].

2.4. Finite State Machine (FSM)

Finite State Machine (FSM) merupakan model komputasi matematis yang dinamis untuk pengambilan keputusan dalam sistem tertanam (*embedded system*). Metode ini membagi kondisi sistem kontrol ke dalam beberapa keadaan terbatas (*states*), aturan transisi yang terstruktur berdasarkan parameter masukan (*inputs*), serta aksi yang jelas. Karakteristik utama algoritma FSM, seperti jenis *Deterministic Finite Automata* (DFA) adalah kemampuannya dalam memproses pembacaan sensor secara berurutan, sehingga sistem dapat membangun transisi antarstate yang sesuai secara deterministik ketika pola kondisi terdeteksi [16], [17], [18]. DFA ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 DFA

Model komputasi FSM dinyatakan ke dalam formulasi matematis lima komponen utama, yaitu:

$$M = (Q, \Sigma, \delta, S, \lambda) \quad (1)$$

Dimana, Q adalah himpunan *state*, Σ adalah himpunan *input*, δ adalah fungsi transisi, S adalah state awal (*initial state*), dan λ adalah fungsi keluaran (*output*) [16].

Fungsi transisi FSM dinyatakan sebagai berikut:

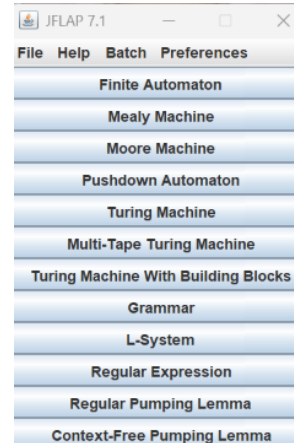
$$\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q \quad (2)$$

Dari fungsi transisi FSM diatas menunjukkan bahwa setiap kombinasi *state* dan *input* akan menghasilkan *state* berikutnya. Dengan konsep tersebut, seluruh perilaku sistem dapat dimodelkan secara sistematis dalam bentuk diagram *state* maupun tabel transisi sehingga memudahkan proses analisis dan implementasi perangkat lunak maupun perangkat keras [16].

2.5. Java Formal Language and Automata Package

JFLAP adalah perangkat lunak digunakan untuk merancang dan mensimulasikan model otomata, seperti DFA, dalam bentuk diagram *state*. Dengan mendefinisikan model dan himpunan input yang diterima, perangkat lunak ini

memastikan struktur transisi sistem sesuai dengan spesifikasi sebelum diterapkan ke perangkat keras [16]. JFLAP ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



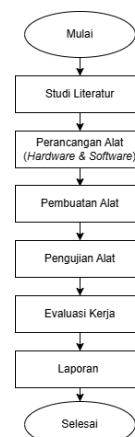
Gambar 2. 2 JFLAP

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimen, untuk menguji keandalan algoritma *Finite State Machine* (FSM) yang ditanamkan pada mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses pusat tunggal secara empiris. Sistem kendali tertanam digital ini menjalankan logika fungsi ATS untuk mengatur pengalihan energi *hybrid* (PLTS-Gas) secara sekuensial.

3.1. Alur Penelitian

Untuk memastikan penelitian ini berlangsung dengan efektif, tahapan penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



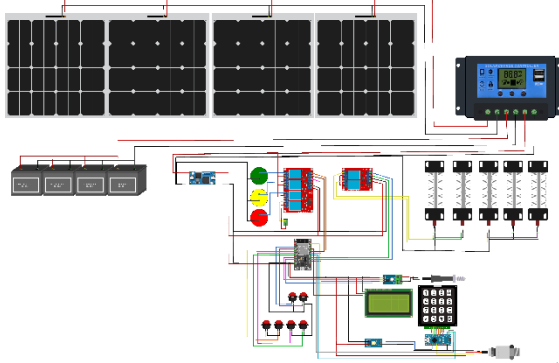
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

Penelitian dimulai secara bertahap dengan studi literatur untuk menemukan perbedaan penelitian dan menentukan spesifikasi teknis

hardware. Selanjutnya, perancangan alat baik *hardware* maupun *software*. Dalam perancangan *software*, metode FSM divalidasi menggunakan simulator perangkat lunak JFLAP sebelum diimplementasikan ke dalam program mikrokontroler. Setelah skenario transisi secara keseluruhan diterima, algoritma FSM dimasukkan ke dalam mikrokontroler berbasis ESP32. Setelah merancang sistem, dilanjutkan dengan pembuatan alat. Apabila alat sudah dibuat, pengujian alat akan dilaksanakan dengan cara uji coba fisik untuk melihat ketepatan sensor, serta pengukuran waktu dan suhu pada saat perpindahan daya (*switching time*).

3.2 Perancangan Perangkat Keras

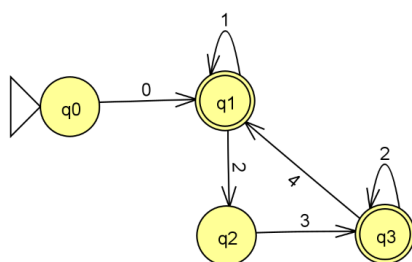
Arsitektur perangkat keras sistem kontrol perpindahan daya otomatis yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pembuat keputusan komputasi yang menggantikan fungsi modul ATS biasa, divisualisasikan secara rinci pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Keseluruhan Sistem

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir yang digunakan untuk menunjukkan urutan langkah dari pembacaan *input* hingga aksi, ditunjukkan pada **Gambar 3.3**, diagram ini berfungsi sebagai referensi utama pemrograman logika mikrokontroler untuk menangani berbagai kondisi perubahan parameter.



Gambar 3. 3 Diagram State pada JFLAP

Tiap simbol *input* dalam sistem ini memiliki fungsi spesifik untuk memicu antar *state* berdasarkan perancangan yang ditetapkan.

1. Himpunan *State* merepresentasikan kondisi operasional sistem yang ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Himpunan State

State	Keterangan
q0	Initial State
q1	Mode Heater
q2	Transisi Perpindahan Sumber Energi
q3	Mode Gas

2. Himpunan *Input*, ditetapkan sebagai masukan untuk memicu proses berikutnya. Himpunan ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Himpunan Input

Transisi	Keterangan
0	Tombol heater ditekan
1	Tegangan baterai > 10,5V
2	Tegangan baterai < 10,5V
3	Timer selesai
4	Tegangan baterai > 10,5V

3. Fungsi Transisi $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ berfungsi untuk mengatur logika perpindahan status berdasarkan kondisi *input*.

$$\delta(q0, 0) = q1$$

$$\delta(q1, 2) = q2$$

$$\delta(q2, 3) = q3$$

$$\delta(q3, 4) = q1$$

4. $Q = \{q0, q1, q2, q3\}$

$$\Sigma = \{0, 1, 2, 3, 4\}$$

$$\delta = \delta(q0, 0) = q1$$

$$\delta(q1, 2) = q2$$

$$\delta(q2, 3) = q3$$

$$\delta(q3, 4) = q1$$

$$S = q0$$

$$F = \{\emptyset\}$$

5. Himpunan *Output* merupakan aksi yang dipicu oleh *input*. Himpunan ini ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Himpunan Output

Output	Keterangan
1	Aktifkan heater, matikan relay solenoid valve dan igniter (Mode heater)

2	Aktifkan semua relay <i>heater</i> , <i>solenoid valve</i> dan <i>igniter</i> (<i>Pre-Switching</i>)
3	Matikan relay <i>heater</i> , aktifkan <i>solenoid valve</i> , matikan <i>igniter</i> (<i>Mode Gas</i>)

$$\lambda = \lambda(q0, 0) = 1$$

$$\lambda(q1, 1) = 1$$

$$\lambda(q1, 2) = 2$$

$$\lambda(q2, 3) = 3$$

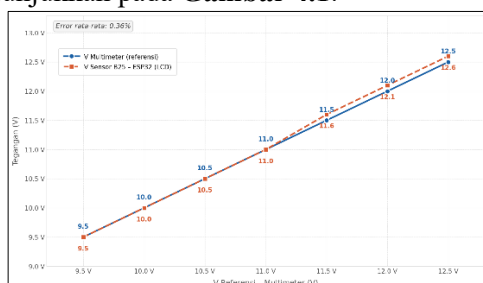
$$\lambda(q3, 4) = 1$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, beberapa pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali perpindahan otomatis energi hibrida PLTS–gas pada oven berbasis *Finite State Machine* (FSM). Pengujian tersebut mencakup validasi model FSM menggunakan JFLAP, kalibrasi sensor tegangan sebagai parameter pengambilan keputusan, pengujian perpindahan energi dari PLTS ke gas dan dari gas ke PLTS, serta pengujian efektifitas FSM dalam sistem perpindahan energi hibrida otomatis.

4.1. Pengujian Sensor Tegangan

Parameter utama untuk mengukur perpindahan sumber energi adalah sensor tegangan B25. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor yang ditampilkan pada LCD dengan pengukuran menggunakan multimeter digital pada rentang tegangan 9,5 V hingga 12,5 V seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan

4.2. Pengujian Transisi JFLAP

Pengujian FSM menggunakan JFLAP ditunjukkan pada **Gambar 4.2**. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi logika

Finite State Machine (FSM) yang digunakan sebagai pengendali perpindahan otomatis energi hibrida PLTS–gas pada sistem oven. Melalui fitur *Multiple Run*, sistem diuji untuk memproses berbagai kombinasi input yang merepresentasikan kondisi tegangan baterai dan status operasi oven sehingga menghasilkan transisi *state* sesuai dengan fungsi transisi yang telah dirancang.

Input	Result
01	Accept
0123	Accept
01234	Accept
0123423	Accept

Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Skenario JFLAP

Detail skenario pengujian beserta urutan *input* dan hasil transisinya dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4. 1 Skenario Pengujian JFLAP

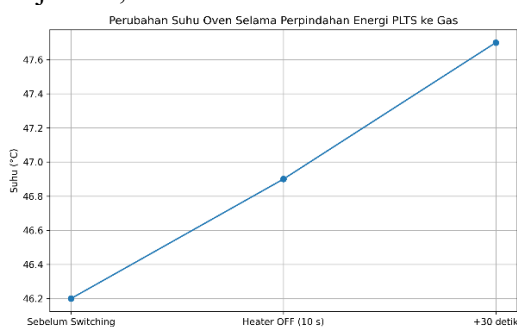
No.	Keterangan Proses	Input	Hasil
1.	Sistem dihidupkan dan berhasil inisialisasi. <i>Heater</i> aktif pada saat tombol ditekan	01	Diterima
2.	Sistem dihidupkan, <i>heater</i> aktif, lalu terdeteksi tegangan rendah, berpindah ke state <i>Pre-Switching</i> , timer 10 detik selesai, berpindah ke state <i>Mode Gas</i>	0123	Diterima
3.	Sistem dihidupkan, <i>heater</i> aktif, terdeteksi tegangan rendah, berpindah ke	01234	Diterima

	mode gas. Tegangan baterai kembali normal, FSM kembali ke mode PLTS secara otomatis		
4.	Sistem mengulang siklus perpindahan energi sesuai dengan urutan transisi FSM yang dirancang	0123423	Diterima

4.3. Pengujian Perpindahan PLTS – Gas

Pengujian perpindahan energi PLTS ke gas dilakukan untuk menilai kemampuan sistem untuk mempertahankan kontinuitas pemanasan oven pada kondisi tegangan baterai rendah. Pada kondisi ini, FSM mengaktifkan *solenoid valve* dan *igniter* untuk menyalakan *burner* gas. Sebagai waktu transisi, *heater* tetap aktif selama sepuluh detik. Hal dirancang untuk memastikan bahwa api telah mencapai status stabil sebelum *heater* dinonaktifkan.

Hasil dari pengujian 10 kali dapat dilihat pada **Gambar 4.3**. Grafik menunjukkan bahwa suhu oven sebelum perpindahan energi rata-rata 46,2°C. Setelah *burner* gas mencapai kondisi stabil dan *heater* dinonaktifkan pada detik ke-10, suhu oven meningkat menjadi 46,9°C. Kemudian, pada 30 detik setelah sistem menggunakan gas sepenuhnya, suhu oven menjadi 47,7°C.



Gambar 4. 3 Perubahan Suhu Oven Saat Switching

Dari pengujian tersebut, suhu tidak turun selama proses *switching*. Ketika *heater*

dinonaktifkan, suhu oven meningkat sebesar 0,7°C, dan kemudian meningkat menjadi 1,5°C setelah sistem beroperasi penuh dengan *burner* gas. Kondisi ini menunjukkan bahwa *burner* gas dapat menggantikan fungsi *heater* tanpa mengganggu proses pemanasan keseluruhan.

Selain itu, hasil pengujian waktu yang dibutuhkan *burner* gas untuk mencapai kondisi pembakaran stabil berkisar antara 7 dan 9 detik, dengan rata-rata 8,1 detik. Waktu ini masih di bawah waktu transisi FSM yang ditetapkan selama 10 detik, sehingga ada margin keamanan sekitar 1,9 detik sebelum *heater* dinonaktifkan. Artinya metode FSM berhasil mengontrol proses perpindahan energi secara bertahap melalui mekanisme *overlap operation*, yaitu kondisi ketika *heater* dan *burner* gas bekerja secara bersamaan selama waktu transisi. Hasil yang didapatkan adalah suhu oven tetap stabil dan tidak turun selama proses perpindahan energi dari PLTS ke gas.

4.4. Pengujian Perpindahan Gas – PLTS

Pengujian perpindahan energi dari gas ke PLTS dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem untuk mengembalikan sumber energi utama ke pemanas listrik ketika tegangan baterai kembali berada pada kondisi normal ($V_{bat} > 10,5 \text{ V}$). FSM mematikan pasokan gas dengan menutup *solenoid valve* dan mengaktifkan relay *heater* secara bersamaan, sehingga proses pemanasan kembali menggunakan energi yang dihasilkan oleh PLTS.

Pengujian dilakukan sepuluh kali, dengan parameter seperti waktu deteksi tegangan baterai, waktu aktivasi relay *heater*, waktu penutupan gas *valve*, dan waktu total *switching* dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 Pengujian Waktu Switching Gas – PLTS

Parameter	Nilai
Waktu deteksi tegangan	0 ms
Waktu <i>switching heater</i>	0,02 ms
Waktu penutupan gas <i>valve</i>	0,02 ms
Waktu total <i>switching</i>	0,04 ms
Tingkat Keberhasilan	100%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh perpindahan energi dari gas ke PLTS tidak memerlukan fase penundaan. Ini menunjukkan bahwa ketika baterai lebih dari

10,5 V, relay *heater* dapat langsung aktif dan *solenoid valve* dapat langsung menutup pada siklus program yang sama tanpa memerlukan waktu transisi tambahan. Maka, perpindahan energi dari gas ke PLTS tidak memerlukan fase penundaan karena *heater* dapat langsung menghasilkan panas setelah mendapatkan sumber daya.

4.5. Pengujian Efektifitas FSM

Tabel 4. 3 Pengujian Efektifitas FSM

State Awal	Input	State Tujuan (FSM)	State Aktual	Status
q0	Tombol <i>heater</i> ditekan	q1	<i>Heater</i>	Berhasil
q1	Vbatt > 10,5V	q1	<i>Heater</i>	Berhasil
q1	Vbatt <10,5 V	q2	<i>Pre-Switching</i>	Berhasil
q2	Timer 10s selesai	q3	Gas	Berhasil
q3	Vbatt <10,5V	q3	Gas	Berhasil
q3	Vbatt >10,5V	q1	<i>Heater</i>	Berhasil

Hasil pengujian pada **Tabel 4.3** menunjukkan bahwa seluruh skenario transisi *state* berhasil dijalankan sesuai dengan kondisi. Pada saat tombol *heater* ditekan dan tegangan baterai mencukupi, mode *heater* aktif. Saat tegangan baterai turun FSM mengaktifkan *solenoid valve* dan *igniter* untuk memindahkan sistem menuju *state Pre-Switching*. Setelah api mencapai kondisi stabil, *heater* akan mati setelah 10 detik dan mode gas aktif. Ketika tegangan baterai kembali ke kondisi normal, FSM berhasil beralih ke *switching state* ke PV dan mengaktifkan *heater*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa enam skenario transisi berhasil dijalankan tanpa kegagalan, menghasilkan tingkat efektivitas FSM sebesar 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa FSM memiliki kemampuan untuk mengendalikan perpindahan energi *hybrid* PLTS-Gas secara otomatis, konsisten, dan sesuai dengan logika kendali yang telah dirancang.

5. KESIMPULAN

- Sistem kendali perpindahan otomatis energi hibrida PLTS–gas pada oven berbasis FSM

berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32. Hasil validasi menggunakan JFLAP menunjukkan bahwa seluruh skenario transisi *state* berjalan sesuai dengan fungsi transisi yang telah dirancang.

- Pada perpindahan energi dari PLTS ke gas, FSM berhasil mempertahankan kontinuitas pemanasan melalui mekanisme *overlap operation* selama 10 detik. Suhu oven tidak mengalami penurunan selama proses *switching*, melainkan meningkat dari rata-rata 46,2°C menjadi 46,9°C setelah perpindahan dan mencapai 47,7°C saat *burner* gas beroperasi penuh. Sementara itu, perpindahan energi dari gas ke PLTS dapat dilakukan dengan waktu *switching* sebesar 0,04 ms.
- Hasil pengujian efektivitas menunjukkan bahwa seluruh 6 skenario transisi *state* berhasil dijalankan tanpa kegagalan, dengan tingkat keberhasilan 100%. Hal ini menunjukkan bahwa metode FSM memiliki kelebihan dalam mengendalikan perpindahan energi secara otomatis, terstruktur, dan konsisten sesuai dengan kondisi tegangan baterai yang terdeteksi.
- Keterbatasan sistem yang dikembangkan masih didasarkan pada parameter tegangan baterai tanpa mempertimbangkan kondisi termal oven secara langsung sebagai variabel dalam pengambilan keputusan. Maka disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan parameter suhu, algoritma kendali yang lebih adaptif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan dalam proses pelaksanaan hingga penyelesaian penelitian. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak kampus dan jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah menyediakan lingkungan pembelajaran yang kondusif dan fasilitas pendukung dalam proses penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, arahan, serta masukan yang berharga selama proses penelitian. Terima kasih kepada rekan sejawat seperjuangan yang telah membantu dalam dilaksanakannya penelitian dari awal hingga akhir. Ucapan terima kasih

yang mendalam pun penulis sampaikan kepada keluarga tersayang, yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, dan motivasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ahmad *et al.*, “A Review of Hybrid Renewable and Sustainable Power Supply System : Unit Sizing, Optimization, Control, and Management,” pp. 1–44, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/en17236027>.
- [2] C. Buana, M. Y. Yunus, M. D. Abbas, R. Ashari, and N. S. I. Sari, “PLANNING AND FEASIBILITY STUDY OF A HYBRID SOLAR POWER PLANT WITH AN ADDED AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) FOR AN OFFICE BUILDING,” vol. 5, no. 3, pp. 77–87, 2023, doi: <https://doi.org/10.22441/ijimeam.v5i3.23244>.
- [3] M. E. S. Effendy, R. D. Kusumanto, and C. Rs, “Automatic Control System for Hybrid Electrical Energy Supply Based on Internet of Things,” vol. 1, no. 2, pp. 34–44, 2021, doi: <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v1i2.47>.
- [4] J. G. Mailuhu, M. A. F. Haurissa, and M. Jamlaay, “Design And Construction Of Automatic Transfer Switch (ATS) System With Backup Control System In Hybrid Power Plant (PLN - PLTS - GENSET),” pp. 520–527.
- [5] M. Alfian, H. Prastya, and B. Purwahyudi, “PROTOTYPE OF AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) FOR SOLAR POWER PLANT BASED ON ARDUINO UNO,” vol. 8, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: <https://doi.org/10.54732/jeecs.v8i1.1>.
- [6] J. Jamaaluddin, S. D. Ayuni, I. Apriliana, and S. Wulandari, “Design of Automatic Transfer Switch System Solar Power Plant – PLN,” vol. 7, no. 2, pp. 57–64, 2023, doi: <https://doi.org/10.18196/jet.v7i2.14651>.
- [7] J. S. Saputro, H. Maghfiroh, F. Adriyanto, M. R. Darmawan, M. H. Ibrahim, and S. Pramono, “Energy Monitoring and Control of Automatic Transfer Switch between Grid and Solar Panel for Home System,” vol. 3, no. 1, pp. 59–73, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.31763/ijrcs.v3i1.843>.
- [8] M. Abdillah, T. Mutia, T. A. Nugroho, and N. I. Pertiwi, “Design of Automatic Transfer Switch on A Renewable Energy Hybrid Grid System at PT Lentera Bumi Nusantara,” vol. 01, no. 02, pp. 38–44, 2022.
- [9] N. Salsabila and S. I. Haryudo, “Sistem Kontrol dan Monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) Model Hybrid Berbasis Internet of Things,” vol. 8275, pp. 119–131, 2023, doi: <https://doi.org/10.20895/jtece.v5i2.1119>.
- [10] A. W. A. Kristanto, U. T. Kartini, A. I. Agung, and B. Suprianto, “Pemodelan Automatic Transfer Switch (ATS) Pada System Smartgrid Pembangkit Photovoltaic dan PLN Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Monitoring Penggunaan Daya Listrik,” pp. 351–360, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v11n2.p351-360>.
- [11] R. Barnwal, S. W. Clark, B. Yogi, and A. Balal, “Automatic Transfer Switch for Critical Loads Between Renewables, Storage, Mains, or Generator,” doi: <https://doi.org/10.1109/TPEC60005.2024.10472269>.
- [12] S. Sukamta *et al.*, “Perancangan Automatic Transfer Switch Pada Sistem Hybrid Sumber Listrik Rumah Tinggal Satu Fasa Berbasis Zelio,” vol. 12, no. 2, pp. 4–8, 2024.
- [13] M. Dahlan, N. Y. D. Setyaningsih, and B. C. Wibowo, “IMPLEMENTASI CLOUD-BASED MONITORING AND CONTROL SYSTEM PADA AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS),” vol. 17, no. 1, pp. 185–194, 2026, doi: <https://doi.org/10.24176/simet.v17i1.16060>.
- [14] V. K. H. Ramakrishnaiah, H. Lakshmappa, B. Gururaj, R. Muniyappa, P. G. Siddaramaiah, and N. H. Bylamurthy, “A novel smart irrigation framework with timing allocation using solenoid valves and Arduino microcontroller,” vol. 13, no. 3, pp. 758–766, 2024, doi: [10.11591/ijres.v13.i3.pp758-766](https://doi.org/10.11591/ijres.v13.i3.pp758-766).
- [15] G. P. Pereira, M. Z. Chaari, and F. Daroge, “IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32,” pp. 221–243, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/iot4030012>.
- [16] F. P. Sari, T. Rismawan, and K. Sari, “SISTEM KENDALI PADA MEDIA TANAM HIDROPONIK SELADA BERBASIS FINITE STATE MACHINE (FSM),” vol. 15, no. 2, pp. 50–57, 2026.
- [17] W. Nath, I. N. S. W. Wijaya, B. G. K. Yulistira, P. Z. E. S. Nugraha, and J. Shiddiq, “SISTEM MONITORING KUALITAS AIR BIOFLOK IKAN NILA BERBASIS IOT DENGAN FSM SEBAGAI PENDUKUNG KEPUTUSAN DAN REKOMENDASI TINDAKAN,” vol. 14, no. 2, pp. 911–920, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v14i2.9469>.
- [18] A. R. Hutaaruk, “KENDALI OTOMATIS TINGKAT KETINGGIAN AIR DAN NUTRISI PADA HIDROPONIK MENGGUNAKAN METODE FINITE STATE MACHINE,” vol. 13, no. 1, pp. 1703–1709, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i1.6044>
KENDALI.