

# Purwarupa dan Kinerja Pengering Gabah *Hybrid Solar Heating* dan *Photovoltaic Heater* dengan Sistem *Monitoring Suhu*

Usman<sup>1</sup>, Akhyar Muchtar<sup>2</sup>, Umar Muhammad<sup>3</sup>, dan Nunik Lestari<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Ujung Pandang  
Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10 Tamalanrea, Makassar, 90245, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Makassar  
Jl. Mallengkeri, Parang Tambung, Tamalate, Makassar, 90224, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa  
Jl. Kapasa Raya No. 23, Biringkanaya, Makassar, 90242, Indonesia

<sup>4</sup>Program Studi Pendidikan Teknologi Pertanian, Universitas Negeri Makassar  
Jl. Mallengkeri, Parang Tambung, Tamalate, Makassar, 90224, Indonesia

usman.ose@poliupg.ac.id<sup>1</sup>, akhyarmuchtar@unm.ac.id<sup>2</sup>, umar.muhammad@politeknikbosowa.ac.id<sup>3</sup>, nunik.lestari@unm.ac.id<sup>4</sup>

**Abstract—** Grain drying is a process to reduce grain moisture content to certain conditions, so the grain can last longer in storage. The grain dryer model used in this research was *Indirect Type Solar Dryer (ITSD)*. In order to make this dryer can work at night, heating element that used electrical energy from solar panels was added. This energy is a renewable and environmentally friendly energy. This dryer was equipped with a temperature monitoring system and control of the photovoltaic heater. The results of temperature monitoring and voltage sensors to controlling photovoltaic heaters based on validation are categorized as work measurement tools, because they have an error of 0.5% - 2%. Whereas the relay works when the battery voltage is 11 - 10.9 V. This dryer can dry grain to reach a moisture content of 14.90% from initial moisture content of 48.46%. The drying process lasts for 11 hours, which is 7 hours using solar energy and 4 hours using photovoltaic heaters. The average temperature produced by dryer system during the drying process is 35.28 °C with a drying efficiency of 60.14%.

**Keywords—** indirect type solar dryer, grain drying, photovoltaic heater, solar panel, temperature monitoring, drying efficiency

**Abstrak—** Pengeringan gabah merupakan sebuah proses untuk menurunkan kadar air gabah sampai pada kondisi tertentu, sehingga gabah tersebut dapat bertahan lebih lama dalam penyimpanan. Model pengering gabah yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Indirect Type Solar Dryer (ITSD)*. Agar pengering ini dapat bekerja pada malam hari, maka ditambahkan dengan elemen pemanas menggunakan energi listrik dari panel surya (*photovoltaic heater*). Energi ini merupakan salah satu energi terbarukan dan ramah lingkungan. Pengering ini dilengkapi dengan sistem *monitoring* suhu dan pengontrolan *photovoltaic heater*. Hasil *monitoring* suhu dan sensor tegangan untuk mengontrol *photovoltaic heater* berdasarkan validasi dikategorikan sebagai alat ukur kerja, karena mempunyai galat 0,5% - 2%. Sedangkan relai bekerja pada saat tegangan baterai sebesar 11 - 10,9 V. Pengering ini mampu mengeringkan gabah hingga mencapai kadar air 14,90% dari kadar air awal 48,46%. Proses pengeringan tersebut berlangsung selama 11 jam, yaitu 7 jam menggunakan energi matahari dan 4 jam menggunakan *photovoltaic heater*. Suhu rata-rata yang dihasilkan sistem pengering ini selama proses pengeringan adalah 35,28 °C dengan efisiensi pengeringan sebesar 60,14%.

**Kata kunci—** indirect type solar dryer, pengeringan gabah, panel surya, photovoltaic heater, monitoring suhu, efisiensi pengeringan

## I. PENDAHULUAN

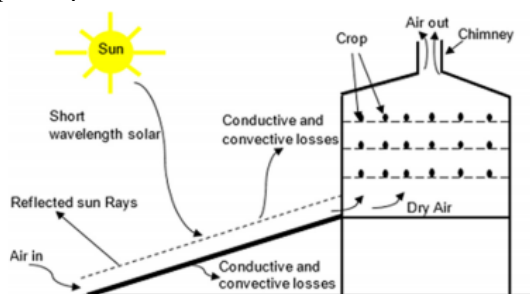
Proses pengeringan merupakan salah satu kegiatan pascapanen yang berpengaruh terhadap mutu gabah [1], [2]. Menurut [3] pada prinsipnya pengeringan adalah proses untuk menguapkan air dari suatu bahan. Tujuannya adalah untuk menurunkan kadar air, memperpanjang umur simpan produk, serta mencegah terjadinya pembusukan dan fermentasi. Selama proses pengeringan berlangsung, terjadi proses perpindahan panas dari udara pengering menuju bahan, dan proses

perpindahan massa air dari dalam bahan ke lingkungan [4], [5]. Proses pengeringan ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara, suhu udara pengering, serta kelembaban udara [6].

Proses pengeringan terbagi menjadi dua jenis, yaitu proses pengeringan alami dengan bantuan sinar matahari secara langsung dan pengeringan buatan yang memanfaatkan bantuan alat pengering [7]. Proses pengeringan secara langsung dengan memanfaatkan energi dari sinar matahari (*open sun drying*) ini memiliki kekurangan, misalnya membutuhkan lahan yang luas, dan dapat terkontaminasi oleh debu dan kotoran yang terbawa

oleh angin [6]. Pemanfaatan energi matahari untuk pengeringan saat ini sudah dapat lebih dioptimalkan dengan membuat alat pengering efek rumah kaca (ERK). Akan tetapi, alat pengering ERK yang ada saat ini umumnya masih terkendala dengan pengeringan yang hanya dapat dilakukan pada siang hari saja [8]. Untuk mengatasi kendala tersebut, maka alat pengering kemudian dilengkapi dengan energi alternatif lainnya seperti biomassa, energi listrik, batu bara, dan lain-lain agar pengeringan dengan alat pengering ERK juga dapat dilakukan pada malam hari.

Proses pengeringan dengan memanfaatkan energi sinar matahari terbagi atas dua model yaitu *open sun drying* (OSD) dan *controlled solar drying* (CSD). Pengering model OSD dilakukan dimana energi matahari secara langsung mengenai bahan yang akan dikeringkan. Sedangkan model CSD merupakan pengeringan suatu bahan dengan energi matahari secara tidak langsung. Model ini juga dapat menyimpan energi matahari dalam bentuk *sensible heat* (SH) atau *latent heat* (LH) yang dapat kembali digunakan pada malam hari. Pengering model CSD ada 3 yaitu *direct type solar dryer*, *indirect type solar dryer* (ITSD), dan *mixed mode type solar dryer* [9]. Dalam [9] dan [10] disebutkan bahwa dari ketiga model pengering CSD tersebut, ITSD merupakan pengering dengan performa pengeringan yang lebih baik dari model pengering lainnya. Sehingga model ITSD dipilih untuk pengembangan alat pengering gabah. *Layout/skematis* model pengering ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Layout* ITSD [9]

Pengering tipe ITSD pada penelitian terdahulu telah dikembangkan sebagai pengering gabah yang dikombinasikan dengan sumber panas tambahan yang berasal dari biomassa [7]. Akan tetapi penggunaan biomassa sebagai energi panas alternatif pada ITSD akan menghasilkan karbon yang dapat mencemari lingkungan. Teknologi panel surya dapat menghasilkan energi listrik yang lebih ramah lingkungan dan salah satu bentuk energi terbarukan yang dapat menggantikan energi biomassa tersebut. Untuk menghasilkan energi panas yang akan dimanfaatkan dalam proses pengeringan dapat menggunakan elemen (*heater*) [11] dengan memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Dengan demikian maka pengering ITSD dengan pemanas tambahan akan lebih ramah lingkungan dan dapat digunakan pada malam hari. Pengembangan pengering tipe ITSD yang baru juga akan

dilengkapi dengan perangkat elektronik untuk memonitor suhu dan pengendalian sumber panas yang tidak dimiliki rancangan pengering ITSD terdahulu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang pengering gabah tipe ITSD dengan penambahan kalor dari elemen pemanas DC dan sistem *monitoring* suhu. Kebutuhan energi listrik untuk elemen pemanas DC bersumber dari panel surya. Energi listrik tersebut kemudian disimpan ke dalam baterai, yang kemudian disebut dengan istilah *photovoltaic heater*. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan pengujian kinerja dari pengering ITSD *hybrid* hasil rancangan. Parameter utama yang digunakan untuk menentukan lama proses pengeringan adalah jika gabah yang dikeringkan telah mencapai kadar air maksimal 14% berdasarkan SNI 01-6128-2008.

## II. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di kampus Politeknik Bosowa, Makassar, Sulawesi Selatan. Jenis pengering yang dibuat adalah pengering model ITSD. Pemilihan pengering tipe ini ditekankan pada keunggulannya terutama mempunyai efisiensi yang tinggi [9] dan dalam penelitian [12] dan [13] direkomendasikan karena mempunyai kinerja yang lebih baik. ITSD ini memiliki 2 komponen utama yaitu ruang pengering sebagai tempat meletakkan gabah yang dikeringkan dan kolektor surya untuk menyerap kalor oleh *absorber*.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang meliputi beberapa tahap. Tahap pertama penelitian ini adalah merancang bangun alat pengering dan perangkat keras *monitoring* suhu dan kontrol *photovoltaic heater*. Tahap kedua adalah membuat algoritma sistem *monitoring* suhu dan kontrol *photovoltaic heater*. Tahap ketiga adalah melakukan pengujian terhadap algoritma. Terakhir adalah melakukan pengujian pengering ITSD *hybrid* hasil rancangan.

### A. Alat dan Bahan

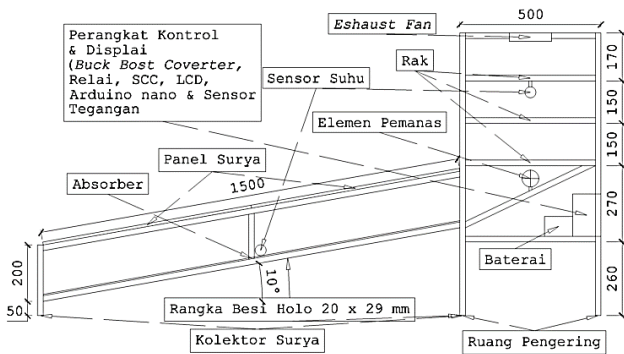
Alat yang digunakan untuk membuat purwarupa pengering ini adalah gerinda potong dan mesin las. Sedangkan bahan yang dipakai adalah panel surya, besi holo 0,02 m x 0,02 m, besi siku, rang besi, *aluminium foil* multipleks, dan gabah basah. Untuk komponen elektronika yang digunakan disajikan pada Tabel I.

### B. Rumah Pengering

Rumah pengering terdiri atas ruang pengering, kolektor surya, dan rak dengan ukuran masing-masing 0,8 m x 0,5 m x 1 m, 0,8 m x 1,5 m x 0,2 m, dan 0,5 m x 0,5 m. Pada ruang pengering terdapat tiga buah rak untuk menempatkan gabah. Dinding yang digunakan terbuat dari multipleks, kemudian untuk mengisolasi panas yang dihasilkan maka dilapisi *aluminium foil*. Pada bagian kolektor surya ditempatkan panel surya dan *absorber*. *Layout* pengering *hybrid* ini ditunjukkan pada Gambar 2.

TABEL I. KOMPONEN ELEKTRONIKA PENYUSUN SISTEM *PHOTOVOLTAIC HEATER* DAN *MONITORING SUHU*

No.	Komponen	Merek dan Model	Spesifikasi	Fungsi
1.	Panel surya	Sunasia, SP50-18P	Daya: 50 Wp, eff: 16,93%, Vmpp: 17,8 V, Impp: 2,81 A, Isc: 3,05 A, Voc: 21,8 V, <i>monocrystal</i>	Mengubah energi matahari menjadi energi listrik
2.	<i>Solar Charge Control (SCC)</i>	Landstar LS1024	Imax: 10 A, Teg: 12/24V	Pengatur pengisian baterai sekaligus sebagai proteksi agar baterai
3.	Elemen pemanas DC	-	Daya: 100 W, Teg: 12 V, Suhu 50 – 60 °C	Menghasilkan panas
4.	Sensor suhu	DHT22	Teg. <i>Input</i> : 3,3 – 5 V, Arus <i>output</i> : 2,5 mA, <i>Range</i> : - 40° – 125° C	Mengukur suhu
5.	Arduino Nano	Arduino CH340	Atmel ATmega328, 5V, 14 pin digital I/O, 8 pin analog, 12 kb flash memori, 2 kb SRAM, 1 kb EPROM, 16 MHz kecepatan clock	Pengendali perangkat elektronika
6.	<i>Buck Boost Converter</i>	SH-PSM14	Masukan: 5 – 30V/8A, keluaran: 1,23 – 30 V/10 A, eff : 93%	Regulator tegangan
7.	<i>Liquid Cristal Display (LCD)</i>	Hailangniao, 0802	Tampilan: 2 x 8 karakter, Masukan 5V, dimensi: 58,0x32,0x 10,0 mm	Penampil parameter yang diukur
8.	Sensor tegangan	<i>Divider DC 0-25V</i>	Masukan: 0 – 25 V, ketelitian: 0,00489 V, dimensi 25x13x15mm	Mengukur tegangan
9.	Baterai	Yuasa 36B20L	Teg: 12V, Ah: 35, <i>Lead Acid</i>	Penyimpanan energi listrik
10.	Relai	Songle, SRD-05VDC-SL-C	V/I Max: AC 250V/10A, DC 30V/10A, Teg kerja: 5V	Memutus dan menghubungkan suatu rangkaian
11.	<i>Exhaust fan</i>	Rayden	Teg.: 12 V, Arus: 0,1 A	Penghisap udara



Gambar 2. *Layout pengering hybrid*

C. Sistem *Photovoltaic Heater* dan *Monitoring Suhu*

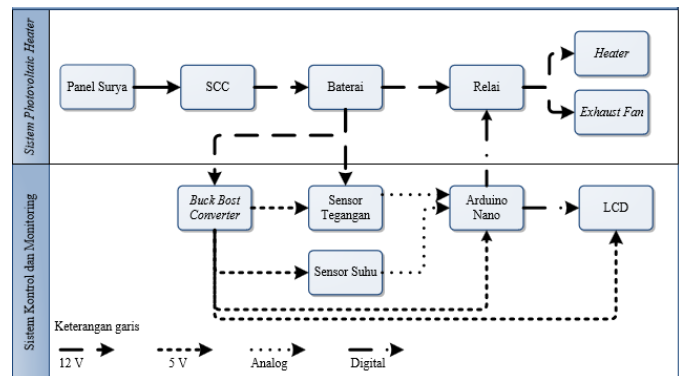
Gambar 3 menunjukkan diagram blok *photovoltaic heater* dan *monitoring* suhu. Cara kerja dari sistem ini adalah energi listrik yang diproduksi oleh panel surya terlebih dahulu disimpan pada baterai. Energi listrik yang tersimpan pada baterai inilah yang digunakan oleh semua komponen untuk menjalankan fungsinya masing-masing.

*Photovoltaic heater* akan berfungsi pada malam hari yang akan di *on*-kan secara manual dan akan *off* secara otomatis jika energi yang tersimpan pada baterai telah berkurang. Hal ini ditandai dengan menurunnya tegangan baterai. Tegangan baterai tersebut akan dimonitor oleh sensor tegangan, yang hasil pengukurannya akan dikirimkan ke Arduino Nano. Hasil pengukuran ini dijadikan dasar untuk mengaktifkan relai.

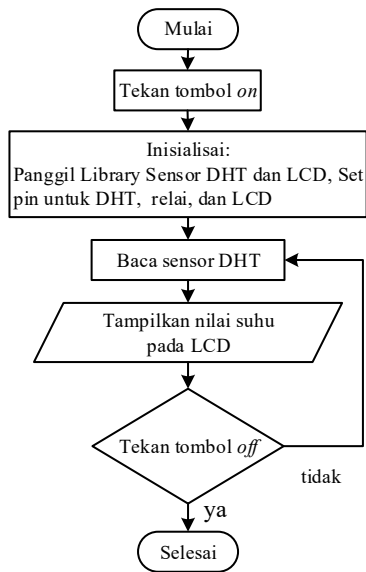
Algoritma yang ditanamkan dalam Arduino Nano terdapat 2 (dua) *mode* yaitu, *mode* siang dan *mode* malam. Perbedaan mendasar kedua *mode* ini adalah terletak pada aktifnya/bekerjanya elemen pemanas. Pada *mode* siang yang

diaktifkan hanya sistem *monitoring* suhu, seperti pada Gambar 4 (a). Sedangkan pada *mode* malam algoritma mengaktifkan sistem *monitoring* suhu dan tegangan baterai seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (b).

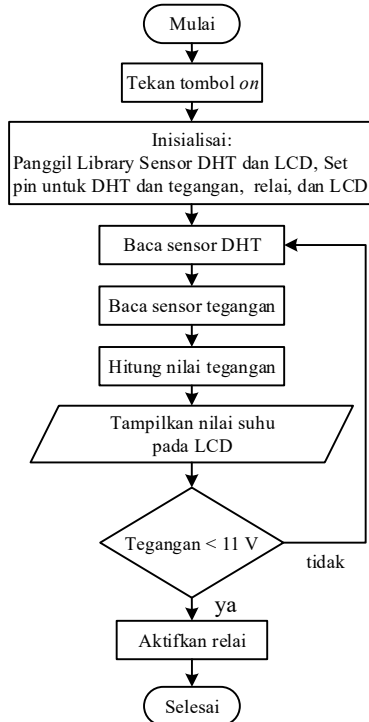
Tegangan referensi yang digunakan didasarkan pada [14], dimana pada *State of Charge (SOC)* 20% tegangan baterai adalah 11 V. SOC merupakan rasio energi yang tersisa dalam baterai. Nilai 20% ini menggambarkan bahwa energi dalam baterai terisi 20% dari kapasitasnya. Nilai ini kebalikan dari *Depth of Discharger (DOD)* yang merupakan rasio penggunaan energi suatu baterai. Apabila SOC 20% suatu baterai maka DOD baterai tersebut adalah 80%. Artinya energi dalam baterai telah digunakan 80% dari kapasitasnya. Kedua parameter ini dapat diestimasi berdasarkan nilai tegangan, karena SOC merupakan fungsi dari tegangan, dimana penurunan nilai SOC akan menyebabkan penurunan nilai tegangan ataupun sebaliknya. Nilai SOC naik pada saat proses *charging* dan akan turun pada proses *discharging*.



Gambar 3. Diagram blok *photovoltaic heater* dan *monitoring* suhu



(a)



(b)

Gambar 4. Algoritma perangkat lunak (a) mode siang hari dan (b) mode malam hari

#### D. Kebutuhan Panel Surya dan Kapasitas Baterai

Daya listrik yang diperhitungkan untuk perencanaan ini adalah elemen pemanas DC. Berdasarkan ketersediaan di pasaran yang mudah didapatkan adalah dengan daya 100 W. Sesuai dengan perencanaan kolektor surya dimana luasnya setara dengan luas untuk panel surya 50 Wp, sebanyak 4 buah. Sehingga kapasitas panel surya adalah 200 Wp. Sedangkan kapasitas baterai yang dibutuhkan dihitung dengan [15]:

$$S_{BC} = \frac{N_c \times E_s}{DOD \times \eta_B} \quad (1)$$

Dimana,  $S_{BC}$  adalah kapasitas baterai (Wh),  $N_c$  adalah perkiraan jumlah hari tanpa sinar matahari (hari),  $E_s$  adalah perkiraan energi yang dihasilkan (Wh),  $DOD$  adalah kedalaman pengosongan baterai dan  $\eta_B$  adalah efisiensi baterai (%).

Sedangkan untuk menghitung kapasitas baterai dalam Ah dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S'_{BC} = \frac{S_{BC}}{V_B} \quad (2)$$

Dimana  $S'_{BC}$  adalah kapasitas baterai (Ah) dan  $V_B$  adalah tegangan baterai (V).

Dengan menggunakan (1) dimana  $DOD = 0,8$  dan  $\eta_B = 0,85$  dan tidak menggunakan  $N_c$  karena diasumsikan proses pengisian baterai akan dilakukan setiap hari, maka didapatkan kapasitas baterai adalah 398,35 Wh. Untuk memilih baterai dalam Ah dengan menggunakan (2) dimana tegangan baterai yang dipilih adalah 12 V yang disesuaikan dengan tegangan kerja *photovoltaic heater* didapatkan sebesar 33,2 Ah.

#### E. Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan adalah dengan memasukkan gabah basah ke dalam rak sebanyak 12,3 kg. Proses pada siang hari dilakukan selama 7 jam, yakni dari jam 09.00 sampai 16.00 WITA. Sedangkan pada malam hari dilakukan sampai *photovoltaic heater* berhenti beroperasi, yaitu dari jam 19.00 sampai 23.00 WITA.

Besaran yang diukur dalam penelitian ini adalah suhu ruang pengering, suhu dan massa gabah, kadar air, serta radiasi matahari. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan sensor suhu dan termometer, penurunan massa gabah diukur menggunakan timbangan, dan radiasi diukur menggunakan *solar power meter*. Pengukuran besaran tersebut dilakukan setiap 1 jam.

Untuk pengukuran kadar air secara langsung dilakukan di awal dan akhir penelitian. Pengukuran kadar air ini dilakukan dengan metode Gravimetri (AOAC 925.10-1995), yaitu sebuah metode baku dan sangat umum digunakan untuk pengukuran kadar air. Sedangkan penurunan kadar air selama proses pengeringan berlangsung diidentifikasi dengan menggunakan (3) dan (4). Identifikasi kadar air selama proses pengeringan berlangsung adalah berdasarkan penurunan massa gabah terhadap waktu, sehingga diperoleh juga hubungan penurunan kadar air terhadap waktu. Tabel II merupakan daftar instrumen yang digunakan dalam proses pengambilan data dan pengujian sensor.

TABEL II. INSTRUMEN/ALAT UKUR YANG DIGUNAKAN

No.	Instrumen	Merek dan Model	Rentang Pengukuran	Akurasi Pengukuran
1.	Solar Power Meter	Solar Power Meter SM206	0,1~3999 W/m <sup>2</sup>	±10W/m <sup>2</sup>
2.	AVO meter	Sanwa CD800a	0,001mV-600 V	±0,7 VDC
3.	Termometer	HTC 1	-0° - 70° C	1° C
4.	Timbangan	Crown	0 - 20 kg	-

## F. Teknik Analisis Data

## 1) Kadar Air

Kadar air basis basah dan basis kering dihitung dengan persamaan berikut:

$$M = \frac{w_t - d}{w} \times 100\% \quad (3)$$

$$X = \frac{w_t - d}{w} \quad (4)$$

Dimana,  $M$  adalah kadar air basis basah (%),  $X$  adalah kadar air basis kering ( $\frac{g_{\text{air}}}{g_{\text{bahan kering}}}$ ),  $w_t$  adalah massa bahan pada waktu  $t$ ,  $w$  adalah massa bahan awal (g), dan  $d$  adalah massa bahan kering (g).

## 2) Laju Pengeringan

Laju pengeringan dihitung dengan persamaan berikut [16]:

$$\frac{DR}{dt} = \frac{M_t + M_{t+dt}}{t} \quad (5)$$

Dimana,  $\frac{DR}{dt}$  adalah laju pengeringan ( $\frac{kg_{\text{air}}}{kg_{\text{bahan kering.h}}}$ ),  $M_{t+dt}$  adalah kadar air (db) pada saat  $t+dt$ ,  $M_t$  adalah kadar air (db) pada saat  $t$ , dan  $t$  adalah lama pengeringan (jam).

## 3) Energi Matahari yang Diterima Oleh Model Pengering

Energi matahari yang diterima oleh model pengering dihitung dengan persamaan berikut [17]:

$$Q_s = 3,6 \times I_g \times A_p \times (\tau\alpha)_p \times t_m \quad (6)$$

Dimana,  $Q_s$  adalah energi matahari yang diterima pengering ( $W/m^2$ ),  $I_g$  adalah iradiasi matahari ( $W/m^2$ ),  $A_p$  adalah luas permukaan pengering ( $m^2$ ),  $\tau$  adalah transmisivitas bahan pengering,  $\alpha$  adalah absorpsivitas bahan penyerap, dan  $t_m$  adalah lama penyinaran matahari (jam).

## 4) Energi Listrik

Konsumsi energi listrik selama proses pengeringan dihitung dengan persamaan berikut [7]:

$$Q_{in} = 3,6 \times P_k \times t \quad (7)$$

Dimana,  $Q_{in}$  adalah energi listrik untuk operasional (kJ),  $P_k$  adalah daya listrik (watt), dan  $t$  adalah lama pengeringan (jam).

## 5) Panas untuk Meningkatkan Suhu Gabah

Panas yang digunakan untuk meningkatkan suhu gabah dihitung dengan persamaan berikut [18]:

$$Q_1 = m_o \times C_p \times (T_2 - T_1) \quad (8)$$

Nilai  $C_p$  dihitung dengan persamaan Siebel sebagai berikut:

$$C_p = 0,837 + 0,034m_o \quad (9)$$

Dimana,  $Q_1$  adalah panas yang digunakan untuk meningkatkan suhu bahan (kJ),  $m_o$  adalah massa awal bahan (kg),  $C_p$  adalah panas jenis bahan ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ ),  $T_1$  adalah suhu sampel sebelum

dipanaskan ( $^\circ C$ ),  $T_2$  adalah suhu sampel setelah dipanaskan ( $^\circ C$ ), dan  $M_o$  adalah kadar air awal bahan (% wb).

## 6) Panas untuk Menguapkan Air Gabah

Panas yang digunakan untuk menguapkan air dari dalam sampel gabah yang dikeringkan dihitung dengan persamaan berikut [18]:

$$Q_2 = M_u + H_{fg} \quad (10)$$

Jumlah air yang harus diuapkan ( $M_u$ ) dari dalam gabah dihitung dengan persamaan berikut [19]:

$$M_u = \frac{W_o(M_o - M_f)}{(100 - M_f)} \quad (11)$$

Panas laten penguapan bahan dihitung ( $H_{fg}$ ) dengan persamaan berikut:

$$H_{fg} = 2502 - (2,3775T) \quad (12)$$

Dimana  $Q_2$  adalah panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan (kJ),  $H_{fg}$  adalah panas laten penguapan produk (kJ/kg),  $M_u$  adalah massa air yang harus diuapkan (kg),  $W_o$  adalah massa awal bahan sebelum pengeringan (kg),  $M_f$  adalah kadar air akhir (% wb),  $M_o$  adalah kadar air awal (% wb), dan  $T$  adalah suhu bahan ( $^\circ C$ ).

## 7) Kebutuhan Energi untuk Pengeringan

Jumlah energi yang dibutuhkan untuk pengeringan gabah dihitung dengan persamaan berikut [18]:

$$Q_{out} = Q_1 + Q_2 \quad (13)$$

Dimana  $Q_{out}$  adalah energi untuk menaikkan suhu dan menguapkan air bahan (kJ),  $Q_1$  adalah panas yang digunakan untuk meningkatkan suhu bahan (kJ), dan  $Q_2$  adalah panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan (kJ).

## 8) Efisiensi Pengeringan

Penghitungan efisiensi pengeringan adalah berdasarkan perbandingan antara kebutuhan energi selama pengeringan  $Q_{out}$  dan energi input yang berasal dari matahari dan listrik  $Q_{in}$  yang dihitung dengan persamaan berikut [17]:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (14)$$

Dimana  $\eta$  adalah efisiensi pengeringan (%),  $Q_{out}$  adalah energi untuk menaikkan suhu dan menguapkan air bahan (kJ), dan  $Q_{in}$  adalah energi input yang berasal dari matahari dan listrik (kJ).

## 9) Validasi Pengukuran Sensor

Penggunaan sensor untuk membaca besaran membutuhkan validasi. Validasi pengukuran sensor dilakukan dengan melihat indikator kinerja sensor, yaitu persentase kesalahan (PK). Persentase kesalahan merupakan perbedaan antara nilai yang terukur dari sebuah pengukuran  $x_0$  dan nilai aktualnya  $x$  diberikan oleh [20]:

$$PK = \frac{|x_0 - x|}{x} \times 100\% \quad (15)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

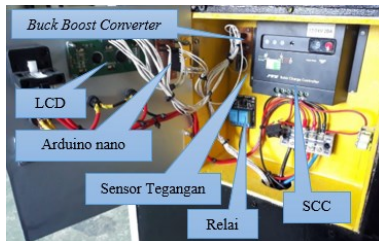
#### A. Rancangan Pengering dan Perangkat Elektronik

Gambar 5 menunjukkan hasil implementasi dari desain pengering ITSD *hybrid*. Gambar 5 menampilkan bagian kolektor surya. Selain digunakan sebagai penghasil energi listrik, panas dari panel surya juga dimanfaatkan untuk memanaskan batuan kerikil di bagian bawahnya melalui perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Panas tersebut kemudian akan berpindah ke bagian ruang pengering secara alami karena adanya perbedaan suhu, dimana suhu pada batuan lebih tinggi dan suhu ruang pengering lebih rendah, sehingga panas akan mengalir secara alami dari tempat bersuhu tinggi ke tempat yang bersuhu lebih rendah.



Gambar 5. Purwarupa pengering ITSD *hybrid*

Implementasi rancangan perangkat elektronik ditunjukkan pada Gambar 6. Komponen lainnya yang tidak terdapat pada gambar ini adalah *exhaust fan* yang diletakkan pada bagian atas ruang pengering. *Photovoltaic heater* yang terletak pada bagian bawah rak pengering, serta sensor suhu yang masing-masing terletak pada kolektor surya dan ruang pengering.



Gambar 6. Implementasi *monitoring* suhu dan kendali *photovoltaic heater*

#### B. Kinerja Sistem Pengering

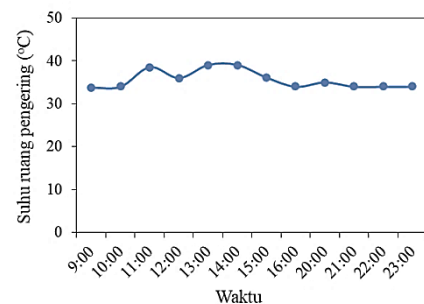
##### 1) Sistem *Monitoring* Suhu

Sistem *monitoring* suhu ini penting dalam suatu pengering karena, suhu merupakan salah satu parameter yang berpengaruh dalam suatu proses pengeringan [6]. Berdasarkan (15) didapatkan kesalahan/galat rata-rata masing-masing sensor yaitu 0,85%, dan 0,79%. Galat ini dibandingkan dengan [21], maka nilai yang didapatkan lebih kecil yaitu 1% - 2%. Kemudian dibandingkan dengan menggunakan sensor *thermocouple* [22] lebih besar 0,39%, dan menggunakan sensor LM35 [23] lebih kecil 10,6%. Dengan demikian penggunaan sensor ini lebih baik dibandingkan dengan sensor lainnya kecuali *thermocouple*. Sedangkan untuk pembacaan sensor

tegangan didapatkan tingkat kesalahan/galat sebesar 0,93%, dan jika dibandingkan dengan [24] lebih besar 0,05%.

Berdasarkan [25] besar kecilnya ketelitian alat-alat ukur dibagi menjadi tiga yaitu alat cermat atau presisi (<0,5%), alat kerja ( $\pm 1-2\%$ ), dan alat ukur kasar (>3%), dengan demikian pembacaan sensor ini termasuk dalam golongan alat ukur kerja. Sehingga pengukuran dari sensor ini dapat menggantikan alat ukur konvensional yaitu termometer.

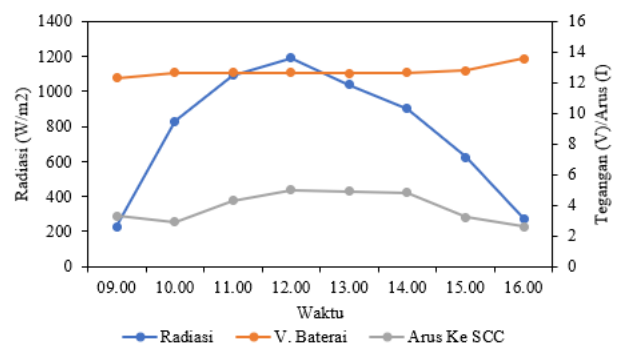
Hasil pengukuran sistem *monitoring* suhu selama proses pengeringan berlangsung ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan *monitoring* tersebut diketahui bahwa rata-rata suhu udara ruang pengering lebih tinggi saat menggunakan energi matahari dibandingkan dengan *photovoltaic heater*. Rata-rata pengukuran suhu pada siang hari adalah 36,30 °C. Sedangkan pada malam hari hasil pengukurannya cenderung tetap, rata-rata 34,25 °C selama 4 jam.



Gambar 7. Suhu ruang pengering selama proses pengeringan

##### 2) Sistem *Photovoltaic Heater*

Gambar 8 menunjukkan tegangan baterai yang menampilkan kenaikan pada setiap jamnya. Pada jam 09.00 tegangan baterai sebesar 12,3 V dan sampai jam 16.00 tegangannya menjadi 13,57 V. Kenaikan tegangan ini menandakan bahwa terjadi pengisian energi dalam baterai. Sedangkan besarnya radiasi akan mempengaruhi nilai arus yang mengalir menuju SCC. Hal ini dapat dilihat pada grafik dimana arus akan mengikuti pola dari radiasi. Rata-rata penerimaan iradiasi matahari saat proses pengeringan adalah 897,13 W/m<sup>2</sup>. Penerimaan iradiasi matahari rata-rata ini cukup tinggi, karena pada saat pengukuran kondisi cuaca dalam keadaan panas terik di musim kemarau.

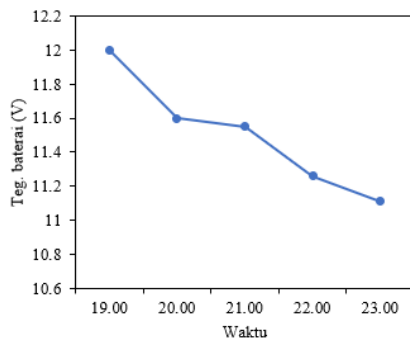


Gambar 8. Pengisian baterai

Pada malam hari energi yang tersimpan dalam baterai kemudian digunakan untuk mengaktifkan *photovoltaic heater* dan *exhaust fan*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9,

dengan aktifnya elemen pemanas tersebut maka akan menyebabkan berkurangnya energi yang tersimpan dalam baterai. Hal ini ditandai dengan menurunnya tegangan, dimana tegangan awalnya 12 V menjadi 11 V. Pada kondisi ini *photovoltaic heater* dan *exhaust fan* akan *off* secara otomatis. berdasarkan hasil pengujian relai dapat membuka pada kondisi tegangan antara 11 – 10,9 V.

*Photovoltaic heater* ini hanya dapat beroperasi selama 4 jam, hal ini dapat dihitung dengan menghitung arus yang digunakan didapatkan sebesar 8,33 A. Kemudian nilai yang didapatkan dari (2) dibagi dengan arus *photovoltaic heater* ini didapatkan 6 jam. Karena pertimbangan *DOD* sebesar 80% yang artinya energi dalam baterai tidak boleh digunakan 100% untuk alasan agar baterai tahan lama, maka didapatkan nilai sebesar 3,9 jam. Dibanding dengan pemakaian yang telah disebutkan terdapat selisih 0,1 jam.

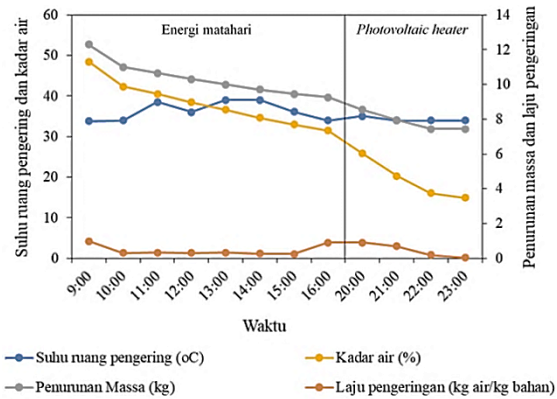


Gambar 9. Penurunan tegangan baterai.

### 3) Kadar Air Gabah

Pengeringan gabah ini berlangsung selama 11 jam, yang terdiri dari 7 jam pengeringan dengan energi matahari (09.00-16.00 WITA) dan 4 jam dengan *photovoltaic heater* (19.00-23.00 WITA). Kadar air akhir gabah yang dicapai setelah 11 jam pengeringan adalah 14,90% dari kadar air awal yaitu 48,46%. Kadar air ini merupakan kadar air basis basah yang dihitung dengan menggunakan (3). Nilai ini berada diambang batas nilai gabah kering berdasarkan SNI 01-6128-2008, yaitu maksimal 14%. Adapun potensi kerusakan yang dapat dialami gabah dengan persentase kadar air tersebut adalah terjadi perubahan warna, berjamur, kerusakan akibat serangga, penyerapan air, dan *respiration loss* [26]. Grafik penurunan kadar air gabah ditampilkan pada Gambar 10.

Berdasarkan Gambar 10 juga diketahui bahwa semakin lama waktu pengeringan, maka kadar airnya juga akan semakin menurun. Penurunan persentase kadar air tersebut dipengaruhi oleh massa bahan yang dikeringkan, dimana massa bahan yang dikeringkan juga semakin menurun terhadap waktu. Penurunan massa gabah dan kadar air ini sangat dipengaruhi oleh suhu pada ruang pengering, dimana semakin tinggi suhu udara di ruang pengering maka semakin cepat air bebas pada gabah akan berkurang. Kemampuan bahan untuk melepaskan air dari permukaan bahan akan semakin besar dengan meningkatnya suhu udara di ruang pengering [27].



Gambar 10. Suhu pengering, penurunan kadar air basis basah, penurunan massa dan laju pengeringan terhadap waktu

### 4) Laju pengeringan

Laju pengeringan adalah banyaknya jumlah air yang diuapkan dari dalam bahan per satuan waktu. Besarnya laju pengeringan ini dipengaruhi oleh penurunan massa gabah yang dikeringkan, yang secara tidak langsung juga dipengaruhi oleh suhu udara pada ruang pengering.

Nilai laju pengeringan pada penelitian ini dihitung dengan (4) dan (5). Laju pengeringan gabah pada penelitian ini cenderung berfluktuasi. Fluktuasi pada laju pengeringan ini dapat disebabkan oleh faktor eksternal di luar dari bahan yang dikeringkan. Faktor eksternal tersebut dapat berupa suhu, kelembaban udara, dan kecepatan aliran udara yang juga berfluktuasi [28]. Hubungan laju pengeringan gabah terhadap lama pengeringan ditampilkan pada Gambar 10.

### 5) Analisis Efisiensi

Pengeringan gabah pada penelitian ini berlangsung selama 11 jam dengan kombinasi energi input yang berasal dari energi matahari dan panas yang dihasilkan oleh *photovoltaic heater* serta energi listrik untuk *exhaust fan*. *Exhaust fan* ini merupakan bagian dari alat pengering yang berfungsi untuk menghisap uap air keluar ruang pengering.

Besarnya energi input yang berasal dari energi matahari adalah 16193,52 kJ, energi listrik *photovoltaic heater* adalah 3600 kJ, dan energi listrik untuk *exhaust fan* adalah 47,52 kJ. Energi input terbesar pada pengeringan ini bersumber dari energi matahari, karena penggunaan energi matahari untuk pengeringan lebih lama yaitu selama 7 jam (09.00-16.00) dibandingkan pengeringan dengan *photovoltaic heater* selama 4 jam. Sementara penggunaan kipas terus dioperasikan selama proses pengeringan berlangsung, baik dengan energi matahari maupun *photovoltaic heater*.

Energi yang terpakai untuk mengeringkan gabah merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memanaskan gabah ditambah energi untuk menguapkan air dari dalam gabah. Besarnya energi yang terpakai untuk mengeringkan gabah ditampilkan pada Tabel III. Sedangkan parameter pendukung untuk menghitung energi yang terpakai dalam pengeringan gabah tersebut ditampilkan pada Tabel IV.

TABEL III. ENERGI YANG TERPAKAI UNTUK MENGERINGKAN

Panas jenis bahan, $C_p$ (kJ/kg °C) (9)	Massa air yang diuapkan, $M_u$ (kg) (11)	Panas laten penguapan, $H_{gf}$ (kJ/kg) (12)
2,48	4,85	2.417,32

TABEL IV. PARAMETER PENDUKUNG UNTUK MENGHITUNG ENERGI YANG TERPAKAI DALAM PENGERINGAN

Energi untuk memanaskan bahan, $Q_1$ (kJ) (8)	Energi untuk menguapkan air bahan, $Q_2$ (kJ) (10)	Energi yang terpakai, $Q_{out}$ (kJ) (13)
208,32	11.725,51	11.933,84

Dari perbandingan energi terpakai untuk mengeringkan gabah dan energi input pengeringan maka dapat dihitung efisiensi pengeringan. Efisiensi pengeringan pada penelitian ini terbilang cukup tinggi, yaitu 60,14%. Tingginya efisiensi pengeringan tersebut disebabkan karena dengan input energi yang tersedia, pengering yang dibuat mampu mengeringkan bahan dalam jumlah besar dan dalam waktu yang cukup singkat.

Nilai efisiensi pengeringan yang tinggi ini juga berarti bahwa energi input yang masuk ke dalam sistem pengering digunakan secara maksimal untuk proses pengeringan. Pemanfaatan energi input secara maksimal ini disebabkan karena pengering ITSD *hybrid* menggunakan lapisan isolator pada ruang pengeringnya. Lapisan isolator tersebut menjaga kalor yang masuk ke dalam ruang pengering agar tidak berpindah ke lingkungan sekitar melalui dinding-dindingnya. Dengan demikian maka kalor tersebut dapat dimanfaatkan dengan maksimal untuk pengeringan gabah.

Secara keseluruhan, kinerja pengering ITSD *hybrid* hasil rancangan ini tergolong baik dengan tingkat efisiensi pengeringan yang cukup tinggi dan kadar air hasil pengeringan gabah yang rendah sesuai standar SNI. Tingkat efisiensi ini bahkan jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengering ITSD oleh [29] yang ditampilkan pada Tabel V. Jika dibandingkan dengan pengering ITSD yang telah ada sebelumnya, maka pengering ITSD *hybrid* hasil rancangan ini juga memiliki keunggulan karena lebih fleksibel untuk digunakan baik di siang hari ataupun malam hari, karena dilengkapi dengan *photovoltaic heater* yang ramah lingkungan. Perbandingan kinerja pengering hasil rancangan dengan rancangan pengering ITSD terdahulu disajikan pada Tabel V.

TABEL V. PERBANDINGAN KINERJA PENERING HASIL RANCANGAN DENGAN PENERING TERDAHULU

Parameter	Pengering ITSD hasil rancangan	[7]	[29]
Suhu rata-rata ruang pengering (°C)	35,28	39,98	44,47
Lama pengeringan (jam)	11	7	6,7
Kadar air awal (% wb)	48,46	18,00	24
Kadar air akhir (% wb)	14,90	15,33	14
Kebutuhan energi pengeringan (kJ)	11.933,84	136.457,76	NA
Efisiensi pengeringan (%)	60,14	NA	11,97

#### IV. PENUTUP

Pengering ITSD *hybrid* dengan sistem *monitoring* suhu yang telah dibuat memberikan kinerja yang baik. Sistem *monitoring* suhu yang dibuat bekerja dengan baik dimana pembacaan sensor suhu apabila ditinjau dari galat/kesalahan diperoleh 1 – 2%. Nilai galat seperti ini tergolong dalam alat ukur kerja, begitu pun dengan sensor tegangan dengan galat 0,93%. Sedangkan relai untuk mengaktifkan *photovoltaic heater* dapat bekerja pada ketika tegangan baterai sebesar 11 – 10,9 V. Proses pengeringan berlangsung selama 11 jam, dimana 7 jam dengan menggunakan energi matahari dan 4 jam menggunakan *photovoltaic heater*. Suhu rata-rata pada ruang pengering ITSD *hybrid* ini adalah 35,28 °C. Kadar air gabah akhir yang dicapai dari rata-rata suhu tersebut adalah 14.90%, dengan proses pengeringan selama 11 jam. Besarnya energi yang dibutuhkan untuk memanaskan dan menguapkan air dari dalam gabah adalah 11.933,84 kJ, sedangkan energi input yang dibutuhkan adalah 19.841,04 kJ. Dengan membandingkan energi *output* dan energi *input* tersebut maka diperoleh efisiensi pengeringan sebesar 60,14%. Efisiensi pengeringan ini jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

#### REFERENSI

- [1] S. Nugraha and R. Thahir, "Keragaan Kehilangan Hasil Pascapanen Padi pada 3 (Tiga) Agroekosistem," *Bul. Teknol. Pasca Panen*, vol. 3, no. 1, pp. 42–49, 2016.
- [2] S. Nugraha, "Inovasi teknologi pascapanen untuk mengurangi susut hasil dan mempertahankan mutu gabah/beras di tingkat petani," *Bul. Teknol. Pasca Panen*, vol. 8, no. 1, pp. 48–61, 2016.
- [3] U. M. Arief, "Aplikasi Kontrol PID untuk Kontrol Suhu dan Humidity pada Sistem Pengeringan Seledri," *J. Tek. Elektro: Vol 6, No 2 J. Tek. ElektroDO - 10.15294/jte.v6i2.3583*, May 2015.
- [4] R. Hosovsky and D. Kindzera, "Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks," *Chem. Chem. Technol.*, vol. 10, no. 4, pp. 459–464, 2016.
- [5] H. Faggion, L. Tussolini, F. B. Freire, J. T. Freire, and E. F. Zanoelo, "Mechanisms of heat and mass transfer during drying of mate ( *Ilex paraguariensis* ) twigs," *Dry. Technol.*, vol. 34, no. 4, pp. 474–482, Mar. 2016, doi: 10.1080/07373937.2015.1060498.
- [6] F. Khalil, L. Nelwan, and I. D. Subrata, "Design of Control System for Grain Drying with Solar Collector and Heat Storage," *J. Keteknikan Pertanian*, vol. 04, no. 1, pp. 87–96, Apr. 2016, doi: 10.19028/jtep.04.1.87-96.
- [7] T. Panggabean, A. Neni Triana, and A. Hayati, "Kinerja Pengeringan Gabah Menggunakan Alat Pengering Tipe Rak dengan Energi Surya, Biomassa, dan Kombinasi," *Agritech*, vol. 37, no. 2, p. 229, Sep. 2017, doi: 10.22146/agritech.25989.
- [8] I. A. Ramli, J. Jamaluddin, and S. Yanto, "Laju pengeringan gabah menggunakan pengering tipe efek rumah kaca (ERK)," *J. Pendidik. Teknol. Pertanian*, vol. 3, pp. 158–164, 2018.
- [9] A. B. Lingayat, V. P. Chandramohan, V. R. K. Raju, and V. Meda, "A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights," *Appl. Energy*, vol. 258, p. 114005, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114005.
- [10] F. C. Tedesco, A. J. Bühler, and S. Wortmann, "Design, Construction, and Analysis of a Passive Indirect Solar Dryer With Chimney," *J. Sol. Energy Eng.*, vol. 141, no. 3, Jun. 2019, doi: 10.1115/1.4041931.
- [11] G. Gultom, M. Ginting, I. Irwansyah, A. A. Rahmansyah, and D. Situngkir, "Implementasi Pengiriman Data Sensor Suhu Ke Database Pada Sistem Heating-Holding Pemanas Bertingkat Untuk VCO," *Ready Star*, vol. 2, no. 1, pp. 167–172, 2019.
- [12] L. Abhay, V. P. Chandramohan, and V. R. K. Raju, "Numerical analysis on solar air collector provided with artificial square shaped roughness for indirect type solar dryer," *J. Clean. Prod.*, vol. 190, pp. 353–367, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.130.



- [13] S. Yadav, A. B. Lingayat, V. P. Chandramohan, and V. R. K. Raju, "Numerical analysis on thermal energy storage device to improve the drying time of indirect type solar dryer," *Heat Mass Transf.*, vol. 54, no. 12, pp. 3631–3646, Dec. 2018, doi: 10.1007/s00231-018-2390-7.
- [14] M. Souaihia, B. Belmadani, and R. Taleb, "State of charge estimation based on adaptive algorithm for Lead-Acid battery," *Indones. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 7, no. 2, pp. 229–240, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.11591/ijeel.v7i2.1002>.
- [15] U. Usman and U. Muhammad, "Perencanaan dan Analisis Ekonomi PLTS Terpusat (Studi Kasus: Pulau Kodingareng)," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2016*, 2016, pp. 38–46.
- [16] E. K. Akpınar and S. Toraman, "Determination of drying kinetics and convective heat transfer coefficients of ginger slices," *Heat Mass Transf.*, vol. 52, no. 10, pp. 2271–2281, 2016.
- [17] Z. Zamharir, S. Sukmawaty, and A. Priyati, "Analisis Pemanfaatan Energi Panas pada Pengeringan Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) dengan Menggunakan Alat Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 4, no. 2, pp. 264–274, 2016.
- [18] S. Edi, T. Tamrin, and D. D. Novita, "Uji kinerja alat pengering tipe rak pada pengeringan chip sukun menggunakan energi listrik," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [19] R. Hanafi, K. Siregar, and D. Nurba, "Modifikasi dan Uji Kinerja Alat Pengering Energi Surya-Hybrid Tipe Rak untuk Pengeringan Ikan Teri," *Rona Tek. Pertan.*, vol. 10, no. 1, Apr. 2017, doi: <https://doi.org/10.17969/rtp.v1i1.7447>.
- [20] U. Usman, U. Muhammad, and N. R. Wibowo, "Rancang Bangun Pyranometer Berbasis Mikrokontroler," *Patria Artha Technol. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 139–144, Oct. 2018, doi: 10.33857/patj.v2i2.137.
- [21] A. H. Saptadi, "Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22 Studi Komparatif pada Platform ATMEL AVR dan Arduino," *J. Inform. dan Elektron.*, vol. 6, no. 2, Jan. 2015, doi: 10.20895/infotel.v6i2.73.
- [22] Z. R. Aidha and F. T. Satrio, "Monitoring Suhu Proses Sangrai Biji Kopi," *J. Ilm. Poli Rekayasa*, vol. 12, no. 2, pp. 63–72, 2017.
- [23] A. Sumarjono, "Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Ruang Di Laboratorium Dengan Menggunakan Labview Berbasis Arduino," *Integr. Lab J.*, vol. 6, no. 2, 2018.
- [24] A. Fitriandi, E. Komalasari, and H. Gusmedi, "Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 87–98, 2016.
- [25] H. Suryawinata, D. Purwanti, and S. Sunardiyo, "Sistem Monitoring Pada Panel Surya Menggunakan Data Logger Berbasis Atmega 328 Dan Real Time Clock DS1307," *J. Tek. Elektro; Vol 9, No 1 J. Tek. ElektroDO - 10.15294/jte.v9i1.10709*, Jan. 2018.
- [26] T. Millati, Y. Pranoto, N. Bintoro, and T. Utami, "Pengaruh Suhu Penyimpanan pada Gabah Basah yang Baru Dipanen terhadap Perubahan Mutu Fisik Beras Giling," *Agritech*, vol. 37, no. 4, p. 477, Mar. 2018, doi: 10.22146/agritech.12015.
- [27] A. O. Omolola, A. I. O. Jideani, and P. F. Kapila, "Drying kinetics of banana (*Musa spp.*)," *Interciencia*, vol. 40, no. 6, pp. 374–380, 2015.
- [28] R. Rozana, R. Hasbullah, and T. Muhandri, "Respon Suhu pada Laju Pengeringan dan Mutu Manisan Mangga Kering (*Mangifera indica* L.)," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [29] L. J. Sari, "Uji Performansi Alat Pengering Gabah Tipe Dmp-1 dengan Penambahan Batu Alor Hitam pada Ruang Kolektor dan Ruang Pengering Sebagai Penyimpan Panas," *J. Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 5, no. 3, pp. 84–91, 2019.