

# Rancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Bencana *Frost* (Embun Beku)

RAVYDO ANGGARA JUFRI, HAPSORO AGUNG NUGROHO, ARIES  
KRISTIANTO, DENI SEPTIADI, RISTA HERNANDI VIRGIANTO, IMMA REDHA  
NUGRAHEINI, ITA SOEGIARTO

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia  
Email : hapsoro.agung@stmkg.ac.id

*Received* 25 Oktober 2023 | *Revised* 24 November 2023 | *Accepted* 29 Desember 2023

## ABSTRAK

*Daerah dataran tinggi Dieng merupakan wilayah terdampak fenomena embun beku selama musim kemarau. Fenomena ini menjadi ancaman serius bagi petani di wilayah tersebut dikarenakan embun beku dapat merusak tanaman dan merugikan hasil panen. Dalam penelitian ini, sebuah sistem deteksi embun beku dirancang untuk mengidentifikasi dan mengetahui keberadaan embun beku pada pertanian secara real-time. Hasil pengujian di lokasi menunjukkan bahwa sistem mendeteksi kondisi "Waspada", kemudian mengirimkan notifikasi dan peringatan ke website, saat nilai output dari sensor DHT22 menunjukkan suhu udara bernilai 1°C, kelembaban udara bernilai 91%, suhu titik embun bernilai 0°C, nilai output sensor anemometer menunjukkan kecepatan angin bernilai 5.12 m/s, serta nilai output sensor wind vane direction menunjukkan arah angin di 331°.*

**Kata kunci:** embun beku, pertanian, sistem monitoring, dieng

## ABSTRACT

*The Dieng plateau area is an area affected by frost phenomena during the dry season. This phenomenon poses a serious threat to farmers in the region as frost can damage crops and harm yields. In this research, a frost detection system is designed to identify and know the presence of frost on agriculture in real-time. The results of on-site testing show that the system detects "Alert" conditions, then sends notifications and alerts to the website, when the output value of the DHT22 sensor shows the air temperature is 1°C, the air humidity is 91%, the dew point temperature is 0°C, the anemometer sensor output value shows the wind speed is 5.12 m/s, and the wind vane direction sensor output value shows the wind direction at 331°.*

**Keywords:** frost, agriculture, monitoring system, dieng

## 1. PENDAHULUAN

Tercapainya ketahanan pangan adalah elemen fundamental yang sangat penting untuk kelangsungan pemerintahan Indonesia sebagai negara dan masyarakat. Ketahanan pangan juga menjadi landasan pembangunan nasional yang seharusnya pemerintah pikirkan dan utamakan. Namun, perlu diperhatikan bahwa pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia sangatlah pesat hingga menimbulkan kebutuhan pangan yang terus tumbuh sejalan dengan penambahan populasi penduduk Indonesia. Berdasarkan data yang didapatkan dari FAO pada tahun 2018, populasi Indonesia mengalami pertumbuhan tahunan sebesar 1,9 persen atau akan bertambah sebanyak dua juta jiwa penduduk (**Arvianti, dkk, 2019**). Dengan kondisi tersebut, pemerintah harus meningkatkan produksi pangan di setiap sektor, termasuk sektor pertanian sebagai penyedia pangan utama.

Pemenuhan pangan utama tergantung pada apakah produksi sektor pertanian cukup untuk memenuhi kebutuhan pangan pada masyarakat atau tidak. Dalam konteks ini, sektor pertanian berperan penting dalam menyediakan berbagai komoditas yang dapat memenuhi kebutuhan nutrisi dan energi masyarakat. Disamping pertumbuhan penduduk, faktor yang mempengaruhi pencapaian ketahanan pangan utama (sektor pertanian) adalah perubahan iklim. Saat ini, fokus utama dalam konteks dampak perubahan iklim pada sektor pertanian adalah cuaca seakan tidak menentu dan menimbulkan fenomena alam, baik yang baru maupun yang jarang terjadi di Indonesia. Dataran Tinggi Dieng menjadi contoh konkret bagaimana perubahan iklim memengaruhi sektor pertanian di Indonesia. Sebagian besar wilayah Dataran Tinggi Dieng terdiri dari daerah pedesaan dan lahan pertanian sehingga pekerjaan rata-rata di sana adalah petani. Dieng juga dikenal merupakan daerah penghasil sayur untuk wilayah Jawa Tengah, kentang adalah komoditas utamanya dan menjadi komoditas terbesar di Indonesia (**Hidayah, dkk, 2022**).

Iklim di Dataran Tinggi Dieng dapat digambarkan sebagai sedang namun hangat, dengan suhu siang berkisar antara 12°C hingga 20°C, sementara suhu malam turun menjadi sekitar 6°C hingga 10°C (**Ni'mah, dkk, 2022**). Pada puncak musim kemarau, yang biasanya terjadi pada bulan Juli hingga Agustus, suhu udara di Dataran Tinggi Dieng bisa turun hingga mencapai 0°C atau bahkan di bawah titik beku, menghasilkan fenomena yang dikenal sebagai "embun upas" oleh penduduk sekitar (**Harriyadi, 2019**). Embun upas atau beku merupakan fenomena cuaca yang unik karena dapat terjadi di Indonesia yang beriklim tropis basah dan sering dianggap sebagai salju oleh sebagian orang di Indonesia (**Pradana, dkk, 2018**). Tidak hanya panorama alamnya yang indah dan spot-spot wisata yang menarik, timbulnya fenomena embun beku juga merugikan bagi para petani, dimana jika tanaman tidak disiram secara benar maka akan menimbulkan penyakit pada tanaman yang disebut dengan embun upas. Embun upas adalah istilah yang merujuk kepada hama yang menghasilkan bintik-bintik merah dan menyebabkan kering pada daun bibit sawit (**Tamami, dkk, 2021**).

Fenomena pembentukan embun beku telah menjadi fokus sejumlah penelitian yang dilakukan oleh berbagai peneliti dari berbagai bidang. Secara spesifik terdapat tiga kategori kejadian embun beku berdasarkan suhu udara minimum, yaitu *light frost* (0 hingga 2°C), *medium frost* (-2 hingga 0°C), dan *heavy frost* (lebih rendah dari -2°C) (**Moeletsi, dkk, 2016**). Di Indonesia, fenomena embun beku yang terjadi pada Dataran Tinggi Dieng digolongkan sebagai embun beku radiasi (**Siswanto & Utomo, 2019**). Embun beku radiasi memiliki karakteristik yaitu langit cerah, angin tenang atau sangat sedikit, inversi suhu, suhu titik embun rendah, dan suhu udara yang biasanya turun di bawah 0 °C pada malam hari tetapi di atas 0 °C pada siang hari. Sedangkan, kriteria embun beku menurut (**Xu, dkk, 2022**) dalam mengevaluasi dampak dari empat faktor yang mempengaruhi model embun beku diantaranya;

suhu udara basah yang masuk ( $T_{in}$ ), kelembapan (RH), kecepatan aliran *velocity* ( $U_{in}$ ) dan suhu permukaan ( $T_p$ ) yang dingin memiliki kisaran kondisi batas sebagai berikut:  $0^{\circ}\text{C} \leq T_{in} \leq 25^{\circ}\text{C}$ ,  $50\% \leq \text{RH} \leq 80\%$ ,  $0.7\text{m/s} \leq u_{in} \leq 5\text{m/s}$ , dan  $-16^{\circ}\text{C} \leq T_p \leq -5^{\circ}\text{C}$ . Faktor-faktor lain seperti kelembapan relatif, suhu titik embun, dan kecepatan angin juga turut berperan dalam kejadian embun beku yang terjadi di Dataran Tinggi Dieng (Aini & Faqih, 2021). Menurut BMKG, beberapa elemen yang memengaruhi terbentuknya embun beku selain kondisi suhu ekstrem di Dataran Tinggi Dieng termasuk gerakan semu matahari, intrusi suhu dingin, dan perubahan suhu seiring dengan perubahan ketinggian (Day, 2019). Istilah "bediding" dalam bahasa Jawa, yang juga dikenal sebagai "bedhidhing," digunakan untuk menggambarkan fluktuasi suhu yang mencolok, terutama pada awal musim kemarau, suhu udara menjadi sangat dingin menjelang malam hingga pagi, sementara di siang hari suhu melonjak dan menjadi sangat panas (Susilawati & Azizah, 2022). Menurut BMKG, suhu udara dingin sebetulnya adalah fenomena alamiah yang umum terjadi selama puncak musim kemarau terutama di wilayah Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara Timur, dimana puncak musim dicirikan oleh pergerakan angin dari timur yang berasal dari Benua Australia (Thirafi, 2021).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis pembentukan embun beku, banyak studi telah dilakukan dalam konteks ini. Namun demikian, hingga saat ini, belum banyak usaha untuk membuktikan yang jelas dalam pembentukan embun beku melalui sistem. Oleh karena itu, dilakukan langkah implementasi dan perancangan sistem yang bertujuan untuk mendeteksi pembentukan embun beku dengan fokus pada tanaman pertanian kentang di Desa Dieng. Penelitian ini bertujuan memberikan informasi pengamatan cuaca dan monitoring kepada petani jika terjadi embun beku yang akan ditampilkan dalam *website*. Dengan adanya sistem monitoring ini, diharapkan petani dapat mengambil tindakan pencegahan yang tepat, sehingga kerugian pertanian akibat embun beku dapat diminimalkan.

## 2. RANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

### 2.1 Diagram Blok

Diagram blok adalah representasi grafis yang menggambarkan elemen-elemen kunci dalam suatu sistem dengan menunjukkan aliran informasi atau sinyal dari *input* ke *output*. Diagram ini membantu dalam pemahaman dan analisis sistem dengan cara yang lebih ilmiah dan terstruktur. Berikut adalah diagram blok sistem yang tersaji dalam Gambar 1 di bawah ini:



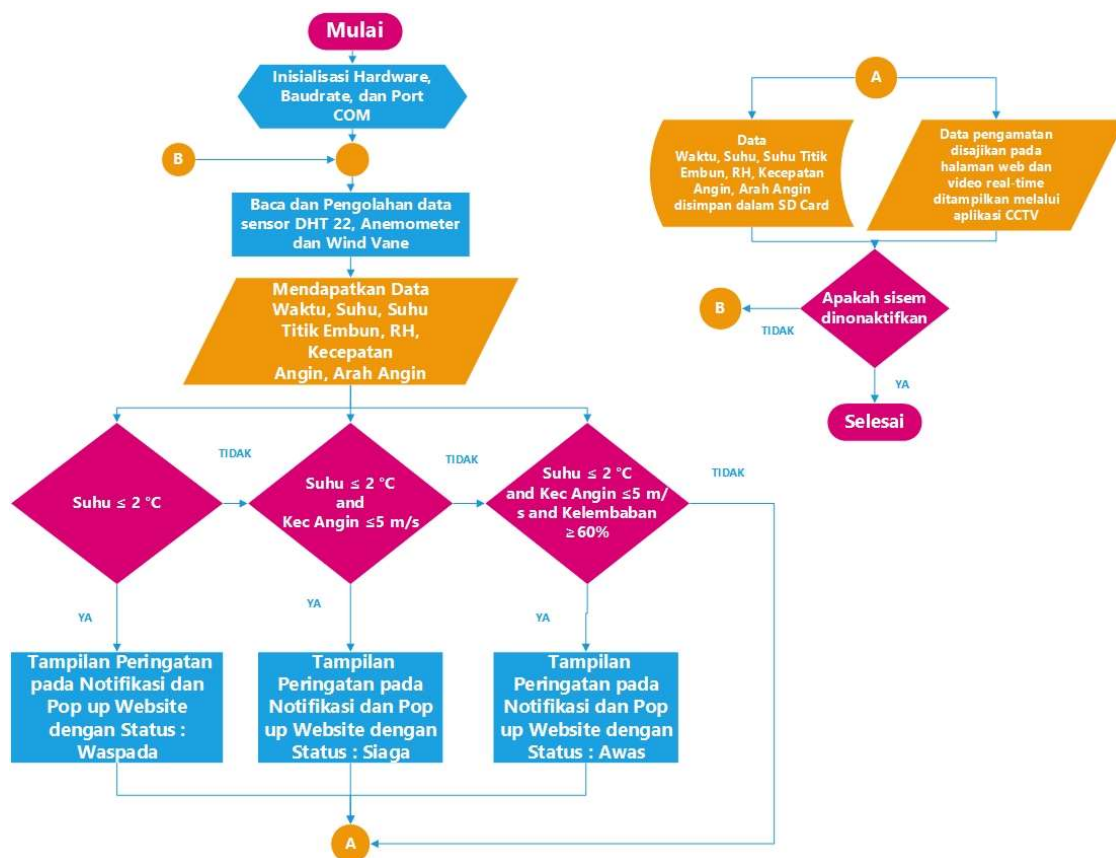
Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Gambar 1 adalah sebuah diagram blok yang merinci perancangan sistem dalam tiga tahapan utama, yaitu *input*, *proses*, dan *output*. Diagram blok sistem menjelaskan bahwa mikrokontroler Arduino bertanggung jawab untuk semua tahap pengumpulan data dan

pengolahan data (**Darussalam & Nugroho, 2018**). Komponen *input* dalam sistem ini melibatkan sensor-sensor khusus, seperti sensor DHT22, sensor anemometer RS485, sensor *wind vane direction* Q05001, dan modul RTC DS3231. Dimana selanjutnya akan diproses oleh Arduino Uno yang kemudian data dikeluarkan dan disimpan pada *micro* SD. Catu daya yang digunakan dalam sistem ini adalah adaptor, yang berfungsi mengubah tegangan arus listrik bolak-balik (AC) dengan nilai tinggi menjadi tegangan listrik arus searah (DC) dengan nilai rendah atau mengalir sesuai kebutuhan perangkat yang digunakan. Energi listrik yang diperlukan untuk sistem ini diperoleh dari lokasi wilayah sekitar (rumah tangga) guna memastikan keandalan dan ketersediaan daya yang kontinu. *Output* dari sistem mencakup tampilan data pada *website* dengan menggunakan modul NodeMCU ESP8266 sebagai perantara untuk pengiriman data melalui jaringan internet. Selain itu, sistem menghasilkan tampilan *real-time* video monitoring menggunakan kamera CCTV yang dapat diakses melalui aplikasi CCTV Bardi, dimana berfungsi sebagai validasi terhadap kemungkinan pembentukan embun beku di area pertanian. Jika sistem mendeteksi keberadaan embun beku dengan nilai melebihi ambang batas yang telah ditetapkan, maka sistem juga akan memberikan peringatan dini dalam bentuk notifikasi dan jendela *pop-up* pada *website*.

## 2.2 Diagram Alir Sistem

Diagram alir sistem menunjukkan tahapan kerja dari sistem yang dirancang terlihat pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2. Diagram Alir Sistem**

Meninjau diagram alir sistem pada Gambar 2, proses dimulai dengan mengaktifkan sistem. Saat diaktifkan, sistem melakukan inisialisasi hardware untuk memastikan setiap komponen

siap digunakan. Ini mencakup menghubungkan Arduino dengan modul NodeMCU ESP8266 dan mengonfigurasi *port* dan *baud rate* yang sesuai agar koneksi internet/Wifi terjalin. Jika kedua mikrokontroler berhasil terhubung, tahap inisialisasi selesai. Namun, jika koneksi tidak terjadi, tahap inisialisasi dianggap gagal dan memerlukan langkah perbaikan serta pengulangan proses hingga koneksi terbentuk.

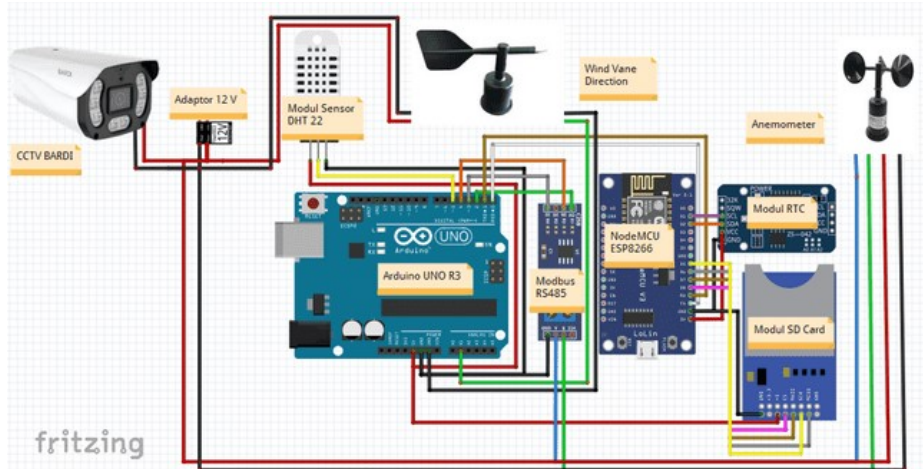
Proses berlanjut dengan pembacaan data dari sensor DHT22, anemometer, dan *wind vane* pada mikrokontroler. Dimana data yang didapatkan yaitu data waktu, suhu udara, suhu titik embun, kelembaban relatif (RH%), kecepatan angin, dan arah angin diperoleh dari sensor tersebut dan ditampilkan dalam *website*. Selanjutnya, program membuat keputusan berdasarkan beberapa kondisi. Terdapat tiga pilihan kondisi untuk pembentukan embun beku:

- a. Kondisi "Waspada" terpenuhi jika suhu udara  $\leq 2^{\circ}\text{C}$ . Program memberikan peringatan "Waspada" melalui notifikasi dan *pop up website*. Jika tidak, program mencari pilihan lain.
- b. Kondisi "Siaga" terpenuhi jika suhu  $\leq 2^{\circ}\text{C}$  dan kecepatan angin  $\leq 5$  m/s. Program memberikan peringatan "Siaga" melalui notifikasi dan *pop up website*. Jika salah satu parameter tidak terpenuhi, program mencari pilihan lain.
- c. Kondisi "Awat" terpenuhi jika suhu  $\leq 2^{\circ}\text{C}$ , kecepatan angin  $\leq 5$  m/s, dan kelembaban  $\geq 60\%$ . Program memberikan peringatan "Awat" melalui notifikasi dan *pop up website*. Jika salah satu parameter tidak terpenuhi, program mencari pilihan lain.

Definisi tiga kondisi, yaitu Waspada, Siaga, dan Awat, pada kondisi *frost* dirancang untuk memberikan respons progresif terhadap potensi pembentukan embun beku. Waspada mencerminkan situasi dimana suhu mendekati ambang pembekuan, Siaga menunjukkan tingkat potensi pembekuan yang lebih tinggi, dan Awat memberikan peringatan maksimal ketika kondisi pembentukan embun beku sangat mungkin terjadi. Justifikasi dari definisi ini adalah memberikan tanggapan yang sesuai dengan tingkat risiko dan membantu petani atau pengguna sistem untuk mengambil tindakan pencegahan yang sesuai dengan tingkat bahaya embun beku yang mungkin terjadi. Keputusan atau pilihan lain yang mungkin dipilih program adalah untuk tidak mendeteksi embun beku. Jika tiga kondisi sebelumnya tidak terpenuhi, maka data suhu, suhu titik embun, kelembaban, kecepatan angin, dan arah angin yang diperoleh secara *real-time* ditampilkan di *website* dan disimpan pada *micro SD Card*. Proses sistem akan terus berulang saat sistem diaktifkan. Saat sistem tidak aktif, proses berakhir.

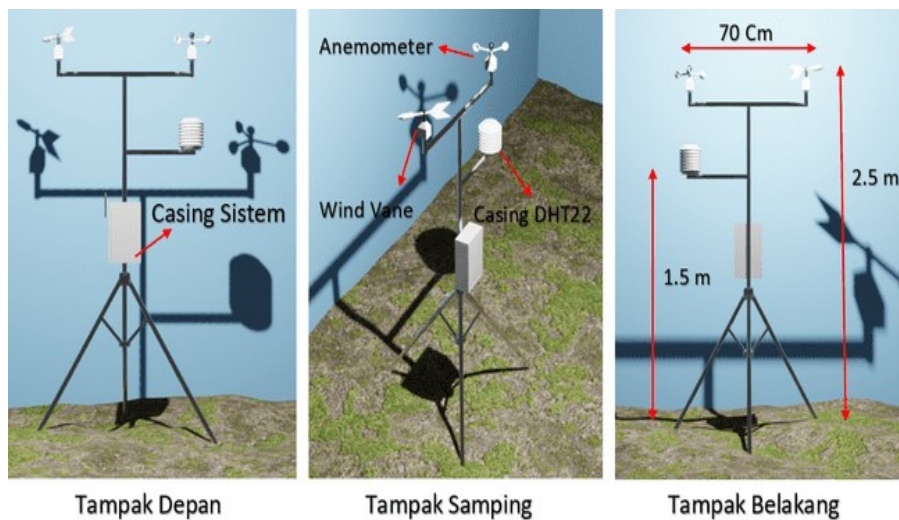
### 2.3 Gambaran Rancangan Modul

Komponen elektronika dalam rancangan modul dirangkai sesuai fungsinya untuk menjadi sistem monitoring embun beku. Rancangan perangkat keras dikembangkan dengan tujuan untuk lebih mudah dalam penempatan sistem (**Mustarang & Nugroho, 2017**). Komponen-komponen tersebut meliputi modul sensor DHT22, sensor anemometer, sensor *wind vane*, modul RTC, modul SD Card, dan NodeMCU ESP8266. Komponen-komponen ini akan berfungsi saat memberikan *input* kepada arduino. Selanjutnya, arduino akan membaca dan mengolah data masukan dari komponen tersebut. Skema rangkaian secara keseluruhan dibuat dengan menggunakan aplikasi Fritzing yang tersaji pada Gambar 3.



**Gambar 3. Skema Rangkaian Sistem**

Perancangan modul memiliki desain mekanik yang terdiri dari tiang penyangga, sensor DHT22 (yang dilindungi dengan casingnya), sensor anemometer, *wind vane* dan *logger* sebagai tempat menyimpan komponen seperti mikrokontroler, RTC, modul NodeMCU ESP8266, serta modul SD Card. Rancangan sistem diilustrasikan pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4. Skema Rangkaian Sistem**

Setelah memahami rancangan rangkaian sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3 dan 4. Tahap berikutnya adalah merancang bentuk fisik dari perangkat. Rancangan fisik perangkat terlihat pada Gambar 4 merepresentasikan fisik dari rancangan model deteksi embun beku yang telah dibuat.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian dan Kalibrasi Sensor DHT22

Pengujian dimulai dengan melakukan kalibrasi pada sensor DHT22 yang dilakukan di Laboratorium Kalibrasi Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah II Ciputat. Tujuan utama dari proses kalibrasi ini adalah untuk memverifikasi keakuratan data suhu yang

dihasilkan oleh sensor dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor dengan alat standar. Alat kalibrasi yang digunakan adalah *Fluke Hart Scientific* tipe 5627A dan *chamber Theodor Friedrichs* dengan suhu 80°C. Hasil dari kalibrasi suhu sensor tersaji dalam Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1. Data Hasil Kalibrasi Sensor Suhu DHT22**

Set Point	STANDAR			Alat yang dikalibrasi (DHT22)	Koreksi
	Pembacaan	Koreksi	Temperatur		
10°C	9.995	0.093	10.088	10.00	0.088
	9.987	0.088	10.075	10.00	0.075
	9.95	0.068	10.018	9.90	0.118
20°C	20.086	0.019	20.105	19.90	0.205
	20.051	0.015	20.066	19.90	0.166
	20.023	0.021	20.044	19.90	0.144
30°C	30.05	0.079	30.129	29.80	0.329
	30.047	0.083	30.130	29.80	0.330
	30.043	0.081	30.124	29.80	0.324

Hasil data dari proses kalibrasi sensor suhu DHT22 adalah rata-rata koreksi yang diukur pada setiap titik pengukuran sensor suhu. Berdasarkan hasil rata-rata kalibrasi sensor DHT22 pada titik pengukuran 20°C, 30°C, dan 40°C, nilai-nilai ini masih memenuhi toleransi dan dikategorikan sebagai baik sesuai dengan standar WMO. *World Meteorological Organization* (WMO) menetapkan nilai koreksi dalam kisaran  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  untuk sensor suhu dan untuk nilai hasil rata-rata koreksi kalibrasi sensor DHT22 yang dilakukan adalah  $0.2^\circ\text{C}$ .

Selanjutnya, nilai kelembaban yang diukur oleh sensor DHT22 akan dilakukan kalibrasi secara bersamaan dengan kalibrator standar yang dapat ditelusuri, yaitu *Rotronic Merk E HL-DS-NT3*, dalam *Peltier Climatic Chamber* yang memiliki rentang pengukuran antara 0-100%. Hasil dari kalibrasi sensor kelembaban disajikan dalam Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2. Data Hasil Kalibrasi Sensor Kelembaban DHT22**

Set Point	STANDAR			Alat yang dikalibrasi (DHT22)	Koreksi
	Pembacaan	Koreksi	Humadity		
40%	38.56	-0.68	37.88	37.22	1.34
	38.61	-0.70	37.91	37.22	1.39
	38.70	-0.71	37.99	37.32	1.38
60%	58.11	-0.87	57.24	58.92	-0.81
	57.96	-0.086	57.10	58.72	-0.76
	57.90	-0.088	57.02	58.72	-0.82
80%	77.69	0.23	77.92	77.92	-0.23
	77.69	0.21	77.90	77.92	-0.23
	77.69	0.26	77.95	77.92	-0.23

Toleransi yang telah ditetapkan oleh *WMO No. 8 Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* untuk pengukuran kelembaban udara adalah  $\pm 5\%$ . Hasil dari Tabel 2 mencantumkan nilai koreksi rata-rata pada masing-masing set point. Pada titik pengukuran

40%, koreksi yang tercatat adalah sekitar 1.4%. Titik pengukuran 60% menghasilkan rata-rata koreksi sekitar -0.79%, sedangkan pada titik pengukuran 80%, koreksi rata-rata adalah sekitar -0.23%. Berdasarkan hasil rata-rata kalibrasi sensor DHT22 pada *set point* pengukuran 40%, 60%, dan 80%, nilai-nilai tersebut masih memenuhi toleransi dan dikategorikan sebagai baik sesuai dengan standar WMO.

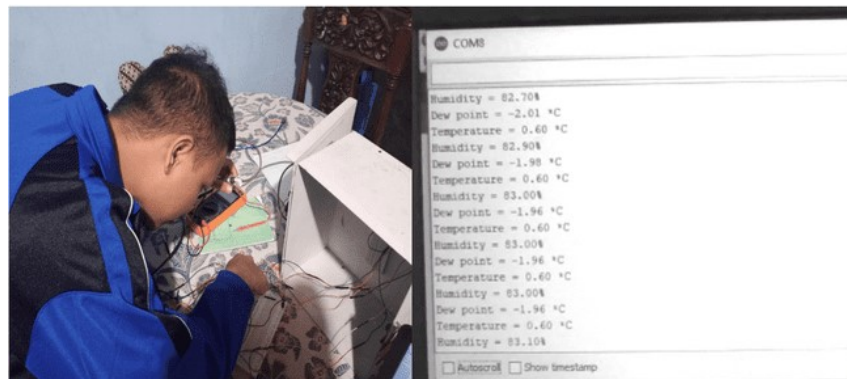
Setelah didapatkan data pengujian suhu dan kelembaban, proses selanjutnya dilakukan pengujian suhu titik embun. Pengujian suhu titik embun merupakan proses penting dalam pemantauan kondisi embun beku. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif. Dalam pengujian ini, sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu titik embun dengan mendapatkan nilai suhu dan kelembaban relatif udara terlebih dahulu. Setelah didapatkan nilai suhu dan kelembaban saat ini dari sensor DHT22, implementasikan rumus menghitung dew point yaitu rumus Magnus-Tetens kedalam program Arduino. Untuk rumus Magnus-Tetens ditunjukkan pada Persamaan 1 (Camuffo, 2019).

$$D_p = \frac{243.04 \left\{ \ln \left( \frac{RH}{100\%} \right) + \frac{17.625 \cdot T_a}{243.04 + T_a} \right\}}{17.625 - \left\{ \ln \left( \frac{RH}{100\%} \right) - \frac{17.625 \cdot T_a}{243.04 + T_a} \right\}} \quad (1)$$

Keterangan:

- $D_p$  = Titik embun dalam derajat Celsius
- RH = Kelembaban relatif dalam persentase
- $T_a$  = Suhu udara dalam derajat Celsius.

Uji coba sensor DHT22 pada berbagai kondisi suhu dan kelembaban guna memverifikasi keakuratan dan konsistensi hasil pengukuran *dew point*. Hasil dan tampilan pengujian suhu titik embun pada sensor DHT22 disajikan pada Gambar 5 di bawah ini.



**Gambar 5. Pengujian Suhu Titik Embun pada Sensor DHT22**

### 3.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor Anemometer

Pengujian sensor kecepatan angin RS485 melalui kalibrasi di Laboratorium Pusat Kalibrasi Meteorologi BMKG menggunakan *wind tunnel* tipe 8420 dari Theodor Friedrich & Co, German. Sensor standar yang digunakan adalah Vector A100LM dengan rentang pengukuran 0 - 75 mps. Kalibrasi dilaksanakan untuk mengukur besar nilai *output* dari sensor RS485 dan dibandingkan dengan nilai terukur pada sensor standar yang sudah tertelusur. Sensor RS485 dikalibrasi dengan tiga set poin pengukuran yaitu 2 m/s, 5 m/s, dan 7 m/s. Hasil dan visualisasi dari proses kalibrasi kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.



**Tabel 3. Data Hasil Kalibrasi Sensor Anemometer**

Set Point	STANDAR		Alat yang dikalibrasi	Koreksi	Rata-rata Koreksi
	Pembacaan	Koreksi			
	m/s	m/s			
2 m/s	2.07	0.03	1.76	0.34	0.3
	2.07		1.77	0.30	
	2.07		1.81	0.26	
5 m/s	5.039	0.09	4.71	0.42	0.35
	5.039		4.70	0.34	
	5.039		4.73	0.31	
7 m/s	7.018	0.06	6.70	0.38	0.34
	7.018		6.69	0.33	
	7.018		6.69	0.33	

Dari tabel hasil kalibrasi di atas, dapat dilihat koreksi rata-rata dari sensor anemometer adalah 0,4 m/s dan nilai tersebut masih menunjukkan nilai toleransi dan kategori yang baik untuk alat standar operasional BMKG yang dimana sebesar  $\pm 0.5$  m/s (Aliva & Nugroho, 2017).

### 3.3 Pengujian dan Kalibrasi *Wind Vane Direction*

Pengujian sensor arah angin dilaksanakan di Laboratorium Kalibrasi BMKG Pusat. Sensor yang akan dikalibrasi yaitu sensor arah angin tipe Q05001 dengan resolusi sensor yaitu 22,5°. Pengujian dilaksanakan dengan 4 set point yaitu 0°, 90°, 180° dan 270°. Proses kalibrasi dilaksanakan dengan pengambilan 3 data setiap set point. Hasil dari proses kalibrasi ditunjukkan pada tabel 4.

**Tabel 4. Data Hasil Kalibrasi Sensor *Wind Vane***

Set Point	STANDAR		Alat yang dikalibrasi	Koreksi	Rata-Rata
	Pembacaan	Koreksi			
0°	0	0.0	1	-1	-1
	0	0.0	1	-1	
	0	0.0	1	-1	
90°	90	0.1	89	1	0
	90	0.1	90	0	
	90	0.1	91	-1	
180°	180	0.2	184	-4	-2
	180	0.2	182	-2	
	180	0.2	181	-1	
270°	270	0.2	271	-1	0
	270	0.2	269	1	
	270	0.2	270	0	

Dari hasil kalibrasi sensor arah angin diperoleh nilai koreksi sensor sebesar -0,75°. Nilai koreksi sensor tersebut masih dalam batas yang ditetapkan oleh BMKG untuk arah angin adalah sebesar 5° sehingga sensor arah angin dapat dinyatakan layak pakai dan dapat dilaksanakan untuk melaksanakan pengukuran.

### 3.4 Pengujian Modul RTC DS3231 dan Penyimpanan Data pada *Micro SD*

Pengujian *Real Time Clock* (RTC) DS3231 dilakukan untuk memastikan bahwa waktu yang telah diatur sesuai dengan waktu sebenarnya. Data waktu RTC akan ditampilkan pada serial monitor. Hasil pengujian data waktu RTC yang tampil di serial monitor sudah sesuai dengan waktu sebenarnya, seperti yang terlihat pada Gambar 6.



**Gambar 6. Pengujian *Real Time Clock* (RTC) pada Serial Monitor**

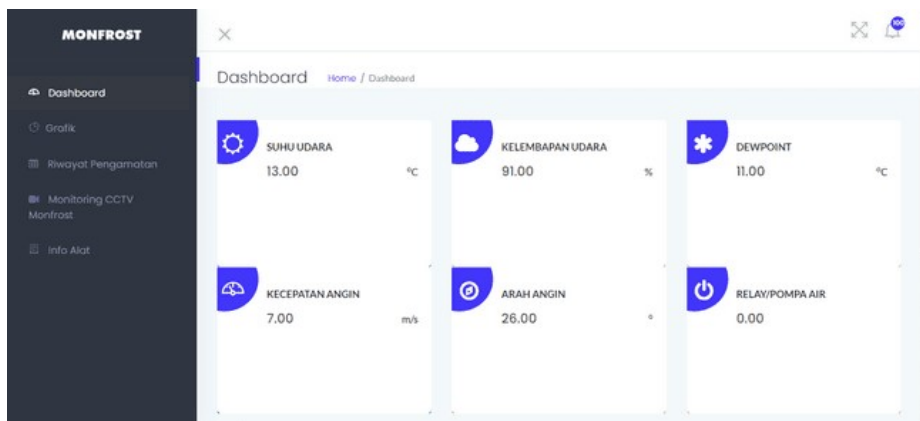
Penyimpanan data pada alat disimpan dalam *SD Card* dengan format .txt menggunakan modul *SD Card*, dimana data pengukuran akan tersimpan setiap 15 detik. Pengujian terhadap penyimpanan data dilakukan dengan memberikan nama file data sensor.txt berisi data hasil pengujian sensor anemometer, *windvane*, dan DHT22. Tampilan data yang terekam pada *SD Card* disajikan pada Gambar 7 di bawah ini.

```
File Edit Format View Help
DATA SENSOR
Waktu, Suhu (°C), Kelembapan (%), suhu titik embun (°C), kecepatan angin (m/s), arah angin (*), relay
2023/5/2,1:3:14;30.00;90.40;28.25;0.00;64.00;0.00;
2023/5/2,1:3:30;30.00;90.40;28.25;0.00;54.00;0.00;
2023/5/2,1:3:46;30.10;90.40;28.35;0.00;54.00;0.00;
2023/5/2,1:4:2;30.10;90.40;28.35;0.00;56.00;0.00;
2023/5/2,1:4:18;30.00;90.40;28.25;0.00;70.00;0.00;
2023/5/2,1:4:34;30.00;90.40;28.25;0.00;68.00;0.00;
2023/5/2,1:4:50;30.00;90.40;28.25;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:5:6;30.00;90.40;28.25;0.00;74.00;0.00;
2023/5/2,1:5:22;30.00;90.40;28.25;0.00;73.00;0.00;
2023/5/2,1:5:38;30.10;90.40;28.35;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:5:54;30.00;90.40;28.25;0.00;76.00;0.00;
2023/5/2,1:6:9;30.10;90.40;28.35;0.00;79.00;0.00;
2023/5/2,1:6:25;30.00;90.30;28.23;0.00;64.00;0.00;
2023/5/2,1:6:41;30.10;90.40;28.35;0.00;64.00;0.00;
2023/5/2,1:6:57;30.10;90.40;28.35;0.00;64.00;0.00;
2023/5/2,1:7:14;30.10;90.40;28.35;0.00;64.00;0.00;
2023/5/2,1:7:30;30.00;90.30;28.23;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:7:46;30.10;90.40;28.35;0.00;76.00;0.00;
2023/5/2,1:8:1;30.00;90.30;28.23;0.00;75.00;0.00;
2023/5/2,1:8:17;30.10;90.40;28.35;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:8:33;30.10;90.40;28.35;0.00;79.00;0.00;
2023/5/2,1:8:49;30.10;90.40;28.35;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:9:5;30.00;90.40;28.25;0.00;79.00;0.00;
2023/5/2,1:9:21;30.10;90.40;28.35;0.00;64.00;0.00;
2023/5/2,1:9:37;30.00;90.40;28.25;0.00;74.00;0.00;
2023/5/2,1:9:53;30.00;90.40;28.25;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:10:9;30.00;90.40;28.25;0.00;65.00;0.00;
2023/5/2,1:10:25;30.00;90.40;28.25;0.00;71.00;0.00;
2023/5/2,1:10:41;30.10;90.40;28.35;0.00;66.00;0.00;
2023/5/2,1:10:57;30.00;90.40;28.25;0.00;63.00;0.00;
2023/5/2,1:11:13;30.10;90.40;28.35;0.00;64.00;0.00;
```

**Gambar 7. Tampilan file SD Card dalam file txt**

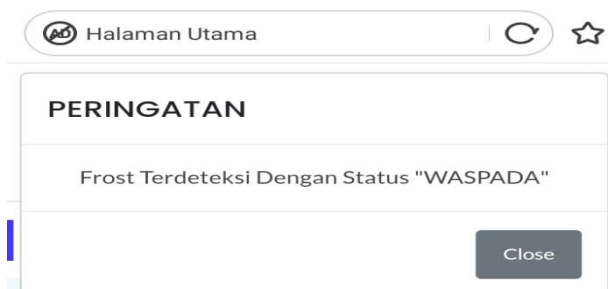
### 3.5 Pengujian *Website*

Pengujian web dilakukan untuk memverifikasi hasil pembacaan sensor yang telah diukur. Selain itu pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah NodeMCU ESP8266 dapat mengirim data dan user dapat mengakses address dari sistem yang dibuat atau tidak. Data yang dikirim disimpan dalam *database* layanan web *Thingspeak*, dan tampil secara *real-time*. Pengujian antarmuka terdiri dari pengujian beberapa menu yang ditampilkan dalam *website*. *Website* di-*hosting* dan bisa diakses melalui halaman <https://monfrostdieng.sinaulabs.com/> serta Gambar 8 menunjukkan hasil antarmuka web yang telah dirancang dan aplikasi antarmuka web mampu menampilkan data dengan tampilan yang responsif pada berbagai perangkat. Web ini memiliki kemampuan untuk menampilkan hasil pengukuran dan dapat diakses dari berbagai perangkat.



**Gambar 8. Tampilan *Dashboard Website***

Selanjutnya, dilakukan uji coba tampilan notifikasi dan peringatan dini embun beku pada *website* dengan melakukan simulasi buatan dalam pembuatan embun beku. Pengujian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan pengujian yaitu pengujian kondisi waspada, siaga, dan awas dengan meletakkan sensor DHT22 didalam kulkas dan meletakkan anemometer didepan kipas angin. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9. Tampilan Notifikasi *Website* saat Proses Pengujian Sistem Salah satu Kondisi**

### 3.6 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian lapangan dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi performa sistem yang telah dirancang. Pemasangan perangkat dilakukan di ladang pertanian kentang Desa Dieng Kulon, Jawa Tengah. Perangkat pada Gambar 10 diletakkan pada kawasan sedikit penghalang sekitar tiang seperti bangunan dan pohon. Kondisi yang diamati berupa parameter suhu, kelembaban, suhu titik embun, kecepatan angin, dan arah angin di sekitar lokasi penelitian.



**Gambar 10. Pemasangan Alat pada Lahan Pertanian Kentang Desa Dieng**

Setelah pemasangan perangkat, pengujian lapangan dilakukan secara periodik selama beberapa periode waktu untuk mengumpulkan data yang mencakup berbagai kondisi cuaca dan lingkungan. Data-data tersebut akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dan memastikan bahwa parameter yang diukur sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, pengamatan terhadap kondisi embun beku juga akan dilakukan secara berkala untuk melihat responsnya terhadap variabel lingkungan yang diukur. Pengujian dilakukan pada lokasi pertanian kentang Desa Dieng Kulon, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah dari tanggal 7 – 8 Agustus. Hasil rata-rata data pengujian di lokasi ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

**Tabel 5. Hasil Rata-Rata Data Pengujian di Ladang Kentang Desa Dieng**

Waktu	Suhu Average (°C)	Kelembaban Average (%)	Suhu Titik Embun Average (°C)	Kecepatan Angin Average (m/s)	Arah Angin Average (°)	Kondisi
07/08/2023 16.00	17	87	15	2.16	50	Normal
07/08/2023 18.00	15	91	13	1.76	67	Normal
07/08/2023 20.00	12	91	10	5.12	325	Normal
07/08/2023 22.00	10	91	8	5.08	330	Normal
08/08/2023 00.00	8	91	6	5.25	322	Normal
08/08/2023 02.00	4	91	2	5.35	308	Normal
08/08/2023 04.00	2	91	1	5.01	289	Normal
08/08/2023 05.00	1	91	0	5.16	331	Waspada
08/08/2023 06.00	1	91	0	5.18	266	Waspada
08/08/2023 08.00	8	91	7	5.22	331	Normal
08/08/2023 10.00	12	88	10	3.12	353	Normal
08/08/2023 12.00	14	87	12	2.34	318	Normal

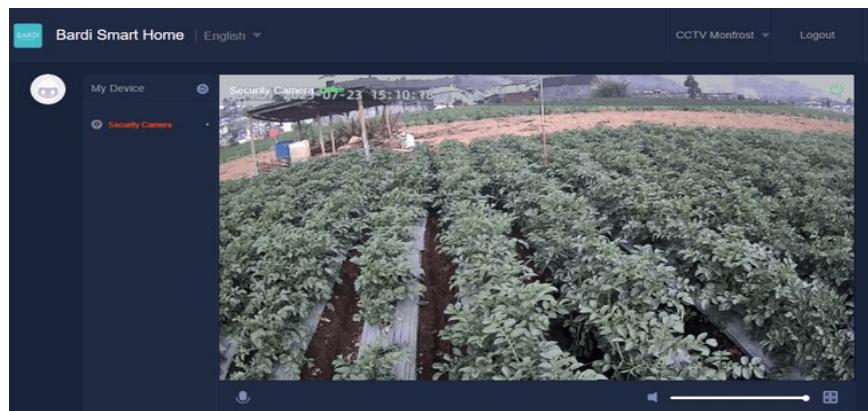
Tabel 5 menunjukkan hasil rata-rata pengujian sistem keseluruhan yang dilakukan pada lokasi penelitian, Pengujian dilakukan selama satu hari untuk memastikan apakah alat berfungsi dengan baik atau tidak. Hasil pengujian lapangan menunjukkan sistem berhasil dijalankan dengan baik untuk melakukan monitoring dan melakukan pengamatan di sekitar lingkungan. Hasil tabel menunjukkan data yang didapatkan pada tanggal 7 dan 8 Agustus 2023 menunjukkan variasi kondisi cuaca di lokasi pengujian. Pada tanggal 7 Agustus, terjadi fluktuasi suhu dan angin sepanjang hari. Meskipun terjadi perubahan, kelembaban tetap tinggi dan ada potensi uap air. Kecepatan angin meningkat menjelang malam, namun cuaca tetap dalam batas normal tanpa embun beku.

Pada tanggal 8 Agustus, terjadi penurunan suhu yang cukup drastis. Pukul 05.00 WIB, kondisi "Waspada" terjadi dengan embun beku yang terbentuk, meskipun kecepatan angin normal. Pukul 06.00 WIB, kondisi tetap "Waspada" dengan parameter tetap stabil. Pada pukul 12.00

WIB, cuaca kembali normal dengan suhu rata-rata 14°C dan fluktuasi kelembaban. Tampilan notifikasi saat terjadi embun beku dengan kondisi waspada pada *website* dapat dilihat pada Gambar 11.

ID	Date	Time	Status
6587	8/8/2023	5:16:02 AM	WASPADA
6586	8/8/2023	5:15:32 AM	WASPADA
6585	8/8/2023	5:13:01 AM	WASPADA
6584	8/8/2023	5:08:59 AM	WASPADA
6583	8/8/2023	5:07:58 AM	WASPADA
6582	8/8/2023	5:07:28 AM	WASPADA
6581	8/8/2023	5:06:57 AM	WASPADA
6580	8/8/2023	5:05:57 AM	WASPADA
6579	8/8/2023	5:03:26 AM	WASPADA
6578	8/8/2023	5:00:54 AM	WASPADA

**Gambar 11. Tampilan Notifikasi Saat Terjadi Embun Beku dengan Kondisi Waspada di Desa Dieng**



**Gambar 12. Tampilan Monitoring dari CCTV**

Pada sistem pemantauan digunakan CCTV sebagai alat validasi lingkungan sekitar. Sistem dapat melakukan pengamatan secara kontinu terhadap kondisi sekitar. Gambar 12 menunjukkan hasil sistem monitoring CCTV di lokasi pengujian secara *real-time* memungkinkan pengamatan kondisi sekitar secara efektif dan cepat.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang dilakukan, sistem monitoring ini berhasil dirancang dengan data yang diperoleh di ladang kentang menunjukkan bahwa selama pengamatan embun beku terdeteksi dengan kondisi waspada. Status waspada ini tercapai ketika parameter cuaca berada di bawah 2°C, dengan pengamatan saat itu menunjukkan suhu 1°C, suhu titik embun 0°C, kelembaban 91%, kecepatan angin normal yaitu lebih dari 5 m/s dan arah angin menunjukkan 331° (barat laut). Nilai *error* yang dihasilkan pada sensor yaitu -2,31% untuk suhu, nilai *error* 2,99% untuk kelembaban, dan nilai *error* 2% untuk kecepatan angin. Data yang berhasil diambil telah dikirim dan disimpan pada platform *Thingspeak*. Selain itu, data juga di-*backup* ke dalam *SD Card* dan ditampilkan di dalam antarmuka *website*. *Website* juga memberikan peringatan

kondisi waspada, siaga, dan awas yang ditampilkan melalui melalui *pop up* serta notifikasi secara *real-time*. Diharapkan pada kondisi kedepannya, jika embun beku terdeteksi oleh sistem, petani segera memeriksa kondisi lapangan tempat pertanian untuk mengkonfirmasi keberadaan embun beku. Jika embun beku menyelimuti tanaman, tindakan pencegahan seperti penutupan atau perlindungan, serta penyiraman manual pada tanaman, dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UP2KM) Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika pada penelitian embun beku (*frost*) Tahun 2023 Nomor Kontrak : KEP065/KSTMKG/III/2023. Semoga dapat bermanfaat untuk semua pembaca.

### DAFTAR RUJUKAN

- Aini, E. N., & Faqih, A. (2021). Frost Predictions in Dieng using the Outputs of Subseasonal to Seasonal (S2S) Model. *Agromet*, 35(1), 30–38. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.35.1.30-38>
- Aliva, M. R. M., & Nugroho, H. A. (2017). Prototipe Wind Tunnel Sebagai Kalibrator Anemometer Prototype Wind Tunnel As Calibrator Anemometer. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 4(3), 46–53. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v4i3.52>
- Arvianti, E. Y., Masyhuri, M., Waluyati, L. R., & Darwanto, D. H. (2019). Gambaran Krisis Petani Muda Indonesia. *Agriekonomika*, 8(2), 168–180. <https://doi.org/10.21107/agriekonomika.v8i2.5429>
- Camuffo, D. (2019). A method to obtain precise determinations of relative humidity using thin film capacitive sensors under normal or extreme humidity conditions. *Journal of Cultural Heritage*, 37, 166–169. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.11.003>
- Darussalam, T., & Nugroho, H. A. (2018). Rancang Bangun Sistem Pengukur Suhu Dan Kelembaban Tanah Berbasis Komunikasi Radio. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 7(1), 146–156. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v7i1.10691>
- Day, B. (2019). *Embun Beku dan Suhu Dingin Ekstrem Dieng, Ini Faktor Penyebabnya*. climate4life.info. <https://www.climate4life.info/2019/06/embun-beku-dan-suhu-dingin-ekstrem-dieng-ini-faktor-penyebabnya.html>
- Harriyadi. (2019). PERTIMBANGAN PEMILIHAN LOKASI KOMPLEKS CANDI DIENG. *AMERTA, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi*, Vol. 37, 123–138.
- Hidayah, R., Kaukab, M. E., Suyono, N. A., & Putranto, A. (2022). Upaya Penanggulangan Dampak Kurangnya Bibit gambar dengan Penerapan Sistem Pemanfaatan Lahan Kosong di Desa Patakbanteng. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(1).

- Moeletsi, M. E., Tongwane, M., & Tsubo, M. (2016). The Study of Frost Occurrence in Free State Province of South Africa. *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9586150>
- Mustarang, A., & Nugroho, H. A. (2017). Sistem Kontrol Catu Daya, Suhu Dan Kelembaban Udara Berbasis Atmega 2560 Pada Ruang Bunker Seismometer. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 8(1), 265–272. <https://doi.org/10.24176/simet.v8i1.960>
- Ni'mah, A. M. B., Jumini, S., & Fatimah, A. Z. (2022). Analisis Karakter Toleransi dalam Pembelajaran Suhu dan Kalor Berbasis Budaya Lokal Ruwatan Rambut Gimbal. *Jurnal Kreatif Online (JKO)*, 10(2), 10–19. <http://jurnal.fkip.untad.ac.id/index.php/jko>
- Pradana, A., Mardiana, A., Lestari, F. N., Sara, F. H., Afifah, S., & Nurjani, E. (2018). Frost Hazard Assessment on Agricultural Land to Achieve Resilient Agriculture in Dieng Volcanic Highland, Central Java. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 3(1), 46–56. <https://doi.org/10.22146/ipas.39620>
- Siswanto, & Utomo, B. J. (2019). Suhu Dingin dan Embun Beku Saat Puncak Kemarau. *KLIMA Media Informasi Dan Publikasi Kedeputusan Bidang Klimatologi BMKG*, 2(6), 16–18. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results%0Aamuhammadkahfi16060474066@mhs.unesa.ac.id>
- Susilawati, D., & Azizah, N. (2022). *Waspada Fenomena Bediding yang Bisa Buat Badan Seperti Menggigil Kedinginan*. [republika.co.id. https://www.republika.co.id/berita/rfpp7q463/waspada-fenomena-bediding-yang-bisa-buat-badan-seperti-menggigil-kedinginan](https://www.republika.co.id/berita/rfpp7q463/waspada-fenomena-bediding-yang-bisa-buat-badan-seperti-menggigil-kedinginan)
- Tamami, W. U., Muzammil, A. R., & Syahrani, A. (2021). Register Petani Sawit Di Desa Sumber Agung Kecamatan Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya. *Program Studi Pendidikan Bahasa Indonesia FKIP Untan Pontianak*.
- Thirafi, H. (2021). *Penyebab Malam Terasa Lebih Dingin di Pulau Jawa*. <https://www.bmkg.go.id/press-release/?p=penyebab-malam-terasa-lebih-dingin-di-pulau-jawa&tag=press-release&lang=ID>
- Xu, Z., Wang, Z., Liang, Z., Chen, H., & Han, Z. (2022). A frost model based on the frost layer's supporting function. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 11(9), 1112–1119.