

Sistem Pengukur Suhu Model Ruang Fermentasi Biji Kakao Berbasis Arduino

Christianto Nathanael Mantiri¹, B.S. Rahayu Purwanti², Syan Rosyid Adiwinata⁵

Program Studi Elektronika Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Depok 16425

E-mail : ¹christianto.nathanaelmantiri.te17@mhs.wpnj.ac.id
Author Correspondence: ²rahayu.purwanti@elektro.pnj.ac.id

Abstrak

*Perancangan sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kaka (*Theobroma cacao L.*) berbasis arduino bertujuan untuk memantau dan mengendalikan suhu ruang (kotak) fermentasi pada saat proses fermentasi biji kaka (*Theobroma cacao L.*). Sistem tersebut dapat melakukan pemantauan dan pengendalian sehingga suhu tetap berada pada interval 40° C - 55° C. Hasil pengamatan menunjukkan suhu awal fermentasi yaitu 28°C dan terus meningkat hingga 50°C suhu ini sudah berada pada suhu optimal untuk proses fermentasi biji kaka. Sistem yang diterapkan untuk melakukan pengamatan ialah menggunakan konsep mikrkontroler dengan menggunakan sensor LM35, Arduino Uno, modul ESP8266, dan LCD 1602. Sistem juga dirancang dengan menggunakan lampu pijar dan kipas 12 V_{DC} untuk membantu pengendalian suhu pada kotak fermentasi biji kaka. Sistem pengukur suhu model yang dirancang akan bekerja untuk memantau dan mengendalikan interval suhu ruang yang optimum. Sistem tersebut juga bekerja secara otomatis dimana apabila suhu dibawah batas maksimum interval, maka lampu pijar dengan daya 40 Watt dirancang untuk aktif dan kipas dirancang untuk tidak aktif. Namun, apabila suhu melebihi batas maksimum interval, maka kipas pendingin dengan tegangan output 12 V_{DC} dirancang untuk aktif dan lampu dirancang untuk tidak aktif. Sistem tersebut dipasang di dalam kotak fermentasi dan kemudian dilakukan pengamatan selama 3-5 hari sebagai waktu minimum untuk melakukan proses fermentasi. Sistem tersebut membantu para produsen biji kaka baik dalam pertanian maupun industri demi menghasilkan kualitas biji kaka yang baik dan mendapat harga tinggi di pasar.*

*Kata kunci : *Theobroma cacao L.*, Fermentasi, Sensor LM 35, Arduino Uno, Modul Relay*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara produsen biji kakao terbesar di dunia yang menempati urutan ke-3 setelah Pantai Gading dan Ghana dengan produksi mencapai 774,2 ribu ton pada tahun 2019 (BPS, 2020). Adapun begitu, besarnya produksi kakao yang dihasilkan Indonesia tidak diikuti dengan kualitas yang mampu bersaing dengan biji kakao dari negara lain. Penyebab rendahnya kualitas biji kakao Indonesia adalah karena kegagalan teknis pada proses pengolahan biji kakao, salah satunya dalam proses fermentasi. Fermentasi merupakan proses penting dalam pengolahan biji kakao yang bertujuan untuk menghasilkan prekursor cita rasa dan aroma kakao, mencokelat-hitamkan warna biji, serta mengurangi rasa pahit dan sepat. Biji kakao yang tidak terfermentasi, tidak akan memiliki senyawa prekursor tersebut sehingga cita rasa dan mutu biji sangat rendah. Salah satu penyebab kegagalan teknis pada saat proses fermentasi adalah kesalahan atau ketidaktepatan dalam memantau suhu yang berubah pada saat proses fermentasi. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), suhu udara rata-rata di Indonesia pada tahun 2020 sebesar 27.3° C,

sedangkan suhu yang optimal untuk proses fermentasi biji kakao agar dapat menghasilkan mutu terbaik adalah 40° C - 60° C dengan lama waktu maksimal 5 - 8 hari bergantung jenis biji kakaonya.

Jangka waktu proses fermentasi biji kakao yang lama menyebabkan terjadinya perubahan suhu sehingga perlu dilakukan pemantauan untuk menjaga suhu agar tetap optimal selama proses fermentasi. Dengan demikian, penyusun memanfaatkan kemajuan teknologi yang berkembang pesat untuk membantu para produsen biji kakao sehingga dapat memantau dan mengendalikan suhu secara otomatis saat proses fermentasi. Sehingga proses fermentasi tersebut dapat berjalan dengan efektif dan efisien hanya dengan menggunakan layar LCD dan sumber listrik. Teknologi tersebut merupakan pengaturan suatu sistem dengan mengaplikasikan sensor suhu LM 35 dan mikrokontroler ke dalam sebuah perangkat pengukur suhu ruang fermentasi. Melalui sensor LM 35 tersebut, suhu ruang fermentasi biji kakao dapat terdeteksi dan terukur sehingga membantu proses pemecahan biji kakao pada saat proses fermentasi.

Sistem perangkat yang dirancang menerapkan konsep mikrokontroler yang terdiri dari sensor LM 35, arduino uno, modul relay, dan modul LCD. Selain mikrokontroler, perangkat juga menerapkan konsep pemantauan berbasis otomatisasi dengan memanfaatkan *serial com* Arduino IDE yang berfungsi untuk menciptakan konektivitas data sehingga dapat memberikan informasi pengukuran suhu dari sensor LM 35. Perangkat tersebut dirancang untuk mengukur, memantau, dan mengendalikan suhu ruang fermentasi biji kakao secara otomatis. Perangkat tersebut sangatlah berguna untuk membuat suhu ruang fermentasi biji kakao agar tetap terjaga pada suhu 40° C – 60° C selama 8 hari. Kondisi suhu ruangan akan ditampilkan melalui layar LCD yang dipasang di dalam kotak fermentasi.

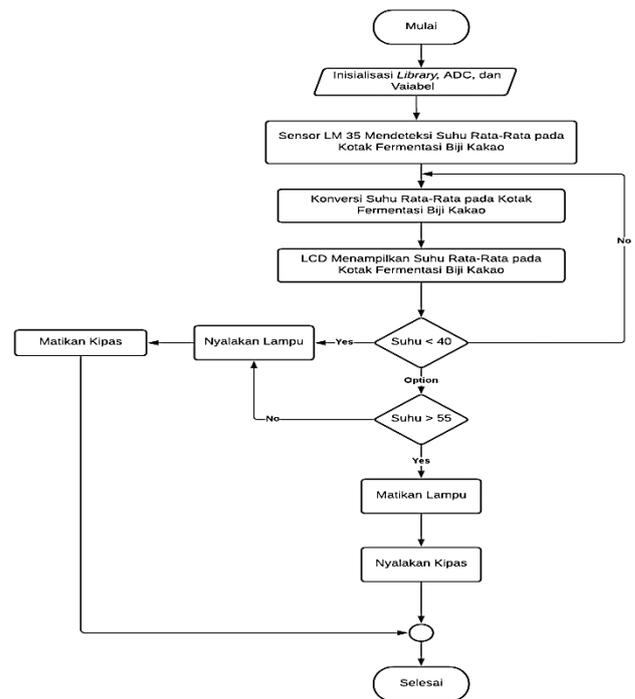
2. METODOLOGI

Realisasi sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis Arduino dilakukan dengan cara sebagai berikut:

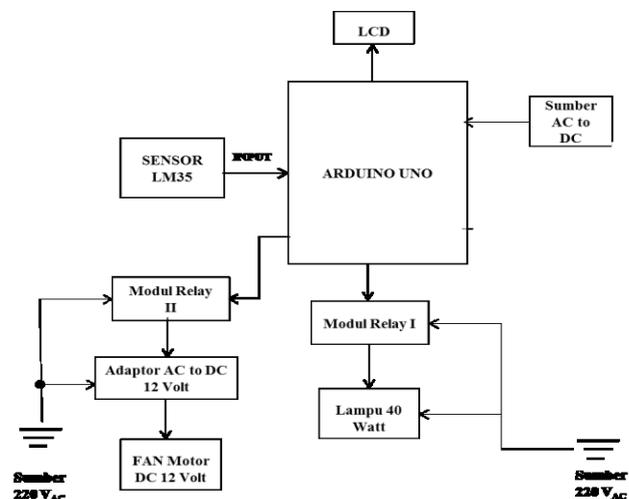
1. Membuat gambaran dari alat yang dibuat, mulai dari kerangka bangun alat sampai penempatan masing-masing subsistem.
2. Membuat rancangan skematik sistem perangkat yang akan digunakan sesuai dengan alur diagram yang berbasis arduino uno.
3. Melakukan instalasi rangkaian sensor LM 35 untuk mendeteksi suhu pada alat yang dirancang.
4. Melakukan instalasi terhadap 2 buah modul relay yang masing-masing dihubungkan ke lampu 40 Watt dan kipas pendingin 12 V_{DC}.
5. Melakukan instalasi terhadap modul I2C yang dipadukan dengan modul LCD untuk menampilkan data suhu.
6. Menggabungkan seluruh subsistem dengan menggunakan *jumper wires* sesuai dengan rangkaian yang telah dibuat.
7. Melakukan observasi dan percobaan sistem pada *prototype* dan pemrograman sistem pengukur suhu pada model ruang fermentasi biji kakao dengan mengaplikasikannya di *software* Arduino IDE.
8. Membuat dan menguji alat yang telah dirancang untuk memantau dan mengendalikan suhu yang optimal yaitu pada rentang suhu 40°C - 60°C untuk proses fermentasi biji kakao.
9. Memantau besaran suhu yang terdeteksi oleh sensor LM 35 melalui modul LCD + I2C dan *serial com* Arduino IDE.

Realisasi sistem fokus pada; (1) Mengintegrasikan program kalibrasi sensor LM 35 agar sensor dapat mendeteksi besaran suhu sesuai dengan suhu ruang sebenarnya, (2) Mengintegrasikan program arduino uno untuk menjalankan fungsi setiap komponen yang tersambung seperti sensor LM 35, modul relay, dan

modul LCD + I2C sesuai dengan sistem yang diinginkan seperti pada *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart



Gambar 2. Blok Diagram

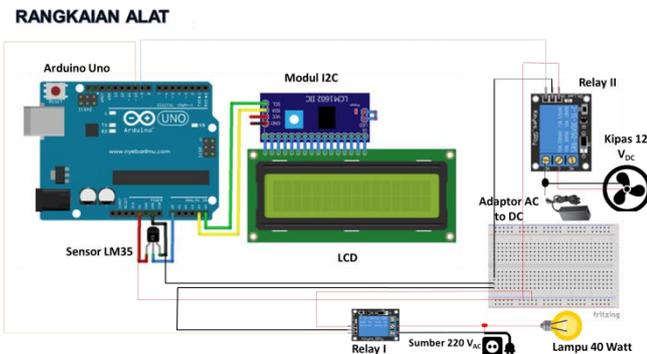
Penjelasan diagram alir dan diagram blok:

1. Sensor LM 35 merupakan *input* 1 yang berfungsi untuk mendeteksi besaran suhu di dalam alat fermentasi biji kakao dengan mengkonversi data analog ke dalam bentuk digital.
2. Tegangan sumber AC to DC dioperasikan sebagai *input* II untuk memberikan sumber tegangan DC ke Arduino Uno R3.
3. Tegangan 220 V_{AC} berfungsi sebagai tegangan *input* III

untuk memberikan daya pada masing masing modul relay yang kemudian dihubungkan ke lampu 40 Watt dan kipas pendingin 12 V_{DC}.

4. Data besaran suhu yang terdeteksi oleh sensor LM 35 ditransmisikan ke Arduino Uno yang kemudian dikonversi dari besaran analog ke dalam nilai digital sehingga data tersebut dapat ditampilkan melalui *serial com* Arduino IDE.
5. Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pemroses data yang berintegrasi dengan sensor LM 35 dan modul relay sehingga data besaran suhu dapat diukur dan dipantau.
6. Pemrosesan data oleh Arduino Uno juga dilakukan untuk mengendalikan besaran suhu agar nilai besaran suhu tetap berada pada interval 40° C - 60° C.
7. Data *output* I ditransmisikan ke modul relay I yang berfungsi sebagai kontaktor I untuk mengaktifkan dan menonaktifkan lampu 40 Watt apabila suhu di dalam alat fermentasi kurang dari atau sama dengan 40° C.
8. Data *output* II ditransmisikan ke modul relay II yang berfungsi sebagai kontaktor II untuk mengaktifkan dan menonaktifkan lampu kipas pendingin 12 V_{DC} apabila suhu di dalam alat fermentasi lebih dari 60° C.
9. Ketika besaran suhu kurang dari atau sama dengan 40° C, maka lampu 40 Watt akan menyala dan kipas pendingin 12 V_{DC} akan mati.
10. Ketika besaran suhu lebih dari 55° C, maka kipas pendingin 12 V_{DC} akan menyala dan lampu 40 Watt akan mati.

Instalasi merupakan proses penerapan rangkaian dengan menghubungkan pin sensor LM 35 ke mikrokontroler sesuai inialisasi pada program yang telah dibuat. Dalam proses instalasi harus diperhatikan dengan teliti karena kesalahan pada proses instalasi dapat mengakibatkan jalur tidak terhubung sempurna dan dapat mengakibatkan terjadinya *short* pada komponen.



Gambar 3. Instalasi Sistem

Pengujian alat merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik masing-masing sub

sistem agar *output* yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Langkah pengujian alat berdasarkan tiap sub sistem yang dirancang dengan dijalankan sebagai berikut :

1.) Pengujian sensor LM 35 menggunakan Arduino Uno. Langkah untuk melakukan pengujian sensor LM 35 dengan menggunakan arduino uno adalah sebagai berikut :

- Menghubungkan kaki sensor LM 35 yakni Vcc, GND, dan *output* ke pin 5 V, GND, dan pin A0 pada arduino uno dengan perantara *proto board*.
- Melakukan kalibrasi terhadap sensor LM 35 yang bertujuan agar hasil pengukuran sensor suhu LM35 dapat disesuaikan dengan suhu sebenarnya.
- Memasukkan program arduino uno terhadap sensor LM 35 agar sensor dapat dijalankan sesuai kebutuhan sehingga dapat melakukan pendeteksian suhu terhadap ruang fermentasi biji kakao.
- Memantau besar suhu pada ruang fermentasi biji kakao yang terdeteksi oleh sensor LM 35 setiap 1 jam melalui *serial com* Arduino IDE dan layar LCD 1602.

2.) Pengujian modul relay menggunakan Arduino Uno. Pengujian pada masing-masing relay dijalankan mulai dari pengamatan terhadap berjalannya program untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu dan kipas yang dipasang di dalam kotak. Langkah untuk melakukan pengujian relay dengan menggunakan arduino uno adalah sebagai berikut :

- Menghubungkan *input* masing-masing relay yakni Vcc dan GND ke pin 5 V dan GND pada *proto board* yang telah diparalelkan dengan pin 5 V dan GND pada arduino uno dan juga diparalelkan dengan kaki Vcc dan GND pada sensor LM 35.
- Menghubungkan tegangan *input* pada relay ke pin 9 dan 10 pada arduino uno untuk menjalankan program pengendalian masing-masing relay.
- Menghubungkan tegangan *output* masing-masing relay (relay I dan relay II) dengan ketentuan tegangan *output* pada *common* dihubungkan ke colokan listrik (steker) dan juga tegangan *output* pada *normally open* dihubungkan ke lampu 40 Watt dan kipas pendingin 12 V_{DC}.
- Memasukkan program arduino uno terhadap masing-masing relay agar relay dapat dijalankan sesuai kebutuhan.
- Memantau proses berjalannya relay terhadap lampu dan kipas sesuai dengan program yang telah diproses oleh arduino uno.
- Memantau besar suhu yang terukur melalui *serial com* pada *software* Arduino Uno IDE setelah masing - masing relay berjalan sesuai dengan inialisasi program dari arduino uno.

3.) Pengujian sub sistem alat terhadap fermentasi biji kakao, pada prosedur pengujian tersebut penulis mengambil referensi dari Litbang Kementerian Pertanian Republik Indonesia. Berikut adalah prosedur pengujian :

- Kotak fermentasi yang telah dirangkai dengan sub sistem dimasukkan biji kakao yang baru dipetik dari pohon dan siap untuk di lakukan proses fermentasi.
- Massa total biji kakao yang dimasukkan ke dalam kotak fermentasi dan siap untuk dilakukan proses fermentasi adalah sebesar 8 kg.
- Biji kakao dimasukkan secara bertumpuk ke dalam kotak fermentasi dengan kedalaman biji kakao yang memenuhi kotak ialah 5 cm.
- Jarak dari permukaan biji kakao ke sub sistem seperti sensor, arduino, dan protoboard adalah 25 cm.
- Jarak dari permukaan biji kakao ke lampu 40 Watt adalah 24 cm, kemudian jarak dari permukaan biji kakao ke kipas pendingin 12 V_{DC} adalah 21 cm.
- Biji kakao yang telah dimasukkan ke dalam kotak fermentasi selanjutnya dialasi dengan daun pisang dan ditutup juga dengan daun pisang pada permukaannya, kemudian pada bagian atas dilapisi dengan karung. Hal tersebut dilakukan selama proses fermentasi yang bertujuan agar jamur yang dimanfaatkan untuk proses fermentasi dapat tumbuh dengan cepat dan subur.
- Selama proses fermentasi berlangsung, biji kakao tersebut dilakukan pengadukan dengan cara dibolak-balikan secara berulang setiap 12 jam (setengah hari). Hal tersebut bertujuan agar suhu panas yang dihasilkan oleh sistem dapat merata ke seluruh biji kakao yang terdapat di dalam kotak fermentasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a) Data Hasil Pengujian

Pengujian alat yang dirancang dengan menerapkan sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino dilakukan selama 5 hari yang terhitung sejak tanggal 14 Agustus 2021 – 18 Agustus 2021 dan 25 Agustus 2021. Pengujian alat dilakukan di Perkebunan Kakao Kampung Tumbit Dayak, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Pengujian alat pada hari pertama dilakukan dengan mengisi 8 Kg biji kakao ke dalam kotak fermentasi yang dirancang dengan sistem pengukur suhu berbasis arduino. Kemudian sistem yang diterapkan di dalam kotak tersebut dijalankan selama 1 hari (24 jam) untuk mengukur dan mengendalikan besar suhu yang terdeteksi oleh sensor LM 35. Proses perolehan data terhadap pengujian alat dengan konsep sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino dilakukan dengan langkah mengamati data yang terdapat di *serial com* Arduino IDE.

Berikut adalah data yang diperoleh selama 5 hari pengujian alat pengukur dan pengendali suhu model ruang fermentasi biji kakao:

Tabel 1. Seluruh Data Hasil Pengujian Alat Selama 5 Hari

Hari Pertama	Hari Kedua	Hari Ketiga	Hari Keempat	Hari Kelima
29.89° C	43.61° C	43.52° C	40.18° C	46.06° C
30.38° C	43.61° C	43.12° C	40.18° C	48.02° C
30.87° C	43.61° C	44.10° C	40.18° C	52.43° C
30.87° C	43.12° C	43.12° C	40.67° C	46.55° C
30.38° C	42.63° C	43.61° C	40.18° C	46.55° C
31.36° C	44.10° C	43.61° C	39.69° C	46.06° C
30.87° C	43.61° C	43.61° C	40.18° C	46.55° C
31.36° C	43.12° C	42.63° C	40.18° C	46.06° C
31.36° C	43.61° C	43.12° C	40.67° C	46.55° C
30.36° C	43.61° C	42.14° C	40.18° C	46.06° C
31.36° C	43.61° C	43.61° C	39.68° C	46.06° C

Berdasarkan data di atas, dapat ditentukan nilai suhu rata-rata setiap 1 hari selama pengujian alat. Berikut adalah persamaan nilai suhu rata-rata:

$$\text{Suhu Rata-Rata} = \frac{\text{Jumlah Data Suhu}}{\text{Banyaknya Data Suhu}} \quad (1)$$

Maka suhu rata-rata setiap 1 hari selama proses pengujian alat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{- Hari Pertama} &= \frac{\text{Jumlah Data Suhu}}{\text{Banyaknya Data Suhu}} \\ &= \frac{339,06}{11} \\ &= \mathbf{30.82^\circ C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Hari Kedua} &= \frac{\text{Jumlah Data Suhu}}{\text{Banyaknya Data Suhu}} \quad (2) \\ &= \frac{478,24}{11} \\ &= \mathbf{43.47^\circ C} \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Hari Ketiga} &= \frac{\text{Jumlah Data Suhu}}{\text{Banyaknya Data Suhu}} \\ &= \frac{476,19}{11} \\ &= \mathbf{43.29^\circ C} \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Hari Keempat} &= \frac{\text{Jumlah Data Suhu}}{\text{Banyaknya Data Suhu}} \\ &= \frac{441,97}{11} \end{aligned}$$

$$= 40.18^{\circ} \text{ C} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{- Hari Kelima} &= \frac{\text{Jumlah Data Suhu}}{\text{Banyaknya Data Suhu}} \\ &= \frac{516.95}{11} \\ &= 46.99^{\circ} \text{ C} \quad (6) \end{aligned}$$

b) Analisis Data

Analisis data merupakan penguraian terhadap seluruh hasil pengujian alat dan sistem selama 5 hari proses fermentasi biji kakao. Analisis data bertujuan untuk menjelaskan dan menyimpulkan seluruh data yang menjadi hasil pengujian alat selama 5 hari sehingga dapat ditemukan informasi baru yang menjadi kesimpulan baru. Substansi yang dijelaskan dari analisis data tersebut ialah suhu rata-rata per hari, perubahan suhu per hari, persentase perubahan suhu rata-rata per hari, dan persentase kenaikan suhu per jam.

- Suhu Rata-Rata Per Hari

Suhu rata-rata per hari merupakan total suhu rata-rata yang diamati selama proses pengujian alat per hari. Proses pengujian alat tersebut dilakukan selama 5 hari, kemudian data suhu yang dihasilkan oleh proses tersebut dihitung nilai rata-rata suhu selama 1 hari. Setelah diketahui nilai rata-rata suhu selama 1 hari, data tersebut akan ditotalkan untuk mengetahui nilai suhu rata-rata per harinya. Berdasarkan hasil penghitungan pada **Persamaan 2-6**, maka nilai dari suhu rata-rata per hari pada pengujian alat fermentasi biji kakao berbasis arduino dapat ditentukan melalui **Persamaan 7** berikut:

$$\begin{aligned} \text{Suhu Rata-Rata Per Hari} &= \frac{\text{Jumlah Suhu Tiap 1 Hari}}{\text{Banyaknya Data}} \\ &= \frac{30.82 + 43.47 + 43.29 + 40.18 + 46.99}{5} \\ &= \\ &= 43.29^{\circ} \text{ C} \quad (7) \end{aligned}$$

2 Perubahan Suhu Per Hari

Perubahan suhu per hari merupakan suatu perubahan yang terjadi pada tingkat suhu di dalam alat selama pengujian, sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan atau penurunan suhu pada alat tersebut. Perubahan suhu per hari juga mengakibatkan proses peningkatan atau penurunan derajat panas akibat peristiwa penyerapan atau pelepasan kalor. Besarnya

perubahan suhu merupakan selisih dari suhu awal dan suhu akhir berdasarkan data yang teramati oleh *serial com* Arduino IDE. Berikut data perubahan suhu pada kotak fermentasi biji kakao setiap 1 hari yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Perubahan Suhu Setiap 1 Hari Selama Pengujian Alat

Waktu Pengujian	Suhu Rata-Rata (°C)	Nilai Perubahan Suhu (°C)
Hari Pertama (14 Agustus 2021)	30.82	$\Delta T = T_1 - T_0$ $= 30.82 - 0$ $= 30.82$
Hari Kedua (15 Agustus 2021)	43.47	$\Delta T = T_2 - T_1$ $= 43.47 - 30.82$ $= 12.65$
Hari Ketiga (16 Agustus 2021)	43.29	$\Delta T = T_3 - T_2$ $= 43.29 - 43.47$ $= - 0.18$
Hari Keempat (18 Agustus 2021)	40.18	$\Delta T = T_4 - T_3$ $= 40.18 - 43.29$ $= - 3.82$
Hari Kelima (25 Agustus 2021)	46.99	$\Delta T = T_5 - T_4$ $= 46.99 - 40.18$ $= 6.81$

Berdasarkan data tabel di atas, maka dapat disimpulkan bahwa besar perubahan suhu selama 5 hari pengujian alat dengan sistem pengukur dan pengendali suhu model ruang fermentasi biji kakao dapat ditentukan melalui **Persamaan 8** berikut:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \text{Suhu Rata-Rata Akhir} - \text{Suhu Rata-Rata Awal} \\ &= 46.99 - 30.82 \\ &= 16,17^{\circ} \text{ C} \quad (8) \end{aligned}$$

- Persentase Perubahan Suhu Rata-Rata Per Hari

Persentase perubahan suhu rata-rata per hari merupakan rasio perbandingan yang menyatakan bagian dari keseluruhan perubahan suhu rata-rata selama 5 hari pengujian alat. Nilai persentase perubahan suhu rata-rata per hari dinyatakan dengan per seratus dan ditunjukkan pada **Persamaan 8** berikut:

$$\begin{aligned}
 (\%) \text{Perubahan Suhu} &= \frac{\text{Suhu Akhir} - \text{Suhu Awal}}{\text{Suhu Awal}} \times 100 \% \\
 &= \frac{46.99 - 30.82}{30.82} \times 100 \% \\
 &= \mathbf{52.46\%} \quad (9)
 \end{aligned}$$

- Persentase Kenaikan Suhu Per Jam

Persentase kenaikan suhu per jam merupakan nilai perbandingan yang menyatakan peningkatan perubahan suhu setiap 1 jam selama 5 hari pengujian alat. Setiap 1 jam suhu di dalam kotak fermentasi yang dirancang mengalami perubahan dimana perubahan tersebut menunjukkan kenaikan atau penurunan suhu. Langkah yang dilakukan pertama kali untuk mencari nilai persentase kenaikan suhu setiap 1 jam di dalam kotak fermentasi adalah dengan mencari total perubahan suhu berdasarkan data yang dihasilkan melalui *serial com* Arduino IDE. Data perubahan suhu setiap 1 jam ditunjukkan oleh **Tabel 4.20** berikut:

Tabel 3. Data Perubahan Suhu Setiap 1 Jam

Waktu Pengujian	Suhu Rata-Rata (°C)	Nilai Perubahan Suhu (°C)
Hari Pertama (14 Agustus 2021)	$\Delta T = T_2 - T_1 = 31.36 - 29.89$	1.47
Hari Kedua (15 Agustus 2021)	$\Delta T = T_2 - T_1 = 43.61 - 43.61$	0
Hari Ketiga (16 Agustus 2021)	$\Delta T = T_2 - T_1 = 43.61 - 43.52$	0.09
Hari Keempat (18 Agustus 2021)	$\Delta T = T_2 - T_1 = 39.68 - 40.18$	- 0.5
Hari Kelima (25 Agustus 2021)	$\Delta T = T_2 - T_1 = 46.06 - 46.06$	0

Berdasarkan data pada **Tabel 4.20** di atas, maka nilai persentase kenaikan suhu per jam di dalam kotak dinyatakan dengan per seratus dan ditunjukkan pada **Persamaan XIII** berikut:

$$\begin{aligned}
 (\%) \text{ Kenaikan Suhu} &= \frac{0 - 1.47}{1.47} \times 100 \% \\
 &= \mathbf{100 \%} \quad (10)
 \end{aligned}$$

c) Hasil Analisis Data

Hasil analisis data merupakan perolehan seluruh data hasil pengujian alat yang dirancang dengan sistem pengukur dan pengendali suhu ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino. Hasil tersebut merupakan hasil akhir setelah seluruh data dikumpulkan dan dianalisis dengan berbagai metode sehingga dapat memberikan kesimpulan terhadap jalannya alat. Hasil analisis data tersebut juga menjelaskan tentang evaluasi alat selama 5 hari pengujian.

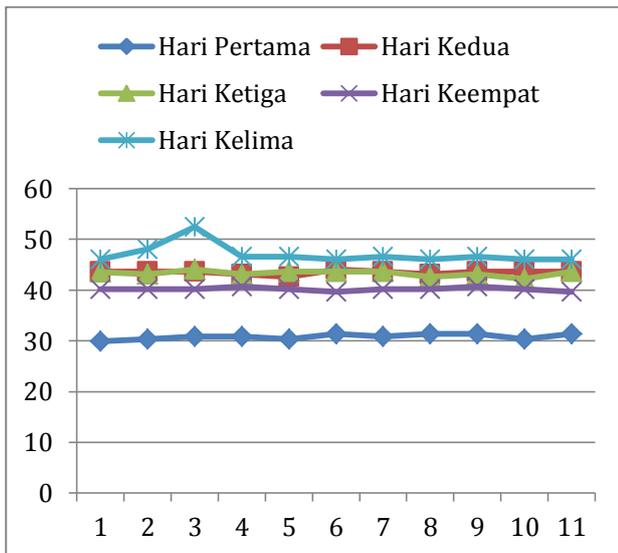
Berikut merupakan seluruh data setelah dihitung dan dikumpulkan selama pengujian alat dilaksanakan yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.21**.

Tabel 4. Hasil Analisis Data Selama Pengujian Alat

Hasil Analisis Data Suhu	Besaran Suhu (° C)
Suhu Rata-Rata Per Hari	40.95° C
Perubahan Suhu Per Hari	16.17° C
Persentase Perubahan Suhu Per Jam	100 %
Persentase Perubahan Suhu Rata-Rata Per Hari	52.46 %

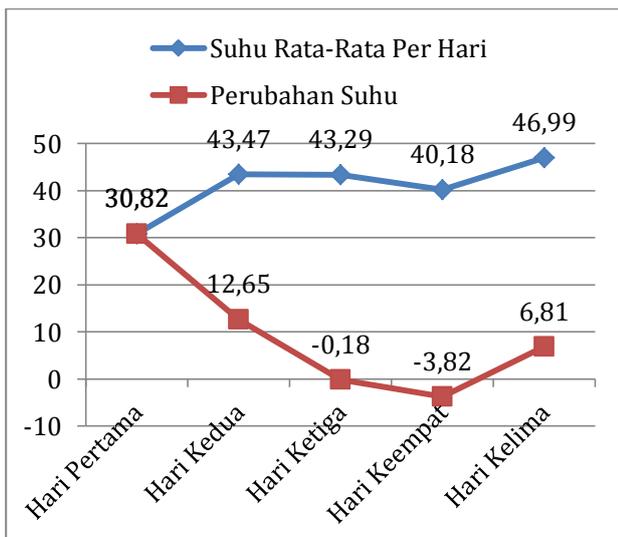
Sumber : Data Pribadi Berdasarkan *Serial Com* Arduino IDE

Berdasarkan hasil analisis data di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pengukur dan pengendali suhu berbasis arduino yang diterapkan di dalam kotak fermentasi mempengaruhi kondisi suhu dan perubahan suhu. Kemudian, kondisi dan perkembangan suhu di dalam kotak fermentasi selama proses pengujian alat dan sistem selama 5 hari ditampilkan oleh grafik pada **Gambar 4** berikut:



Gambar 4. Grafik besaran suhu hasil pemantauan selama 5 hari pengujian

Sumber : Data Pribadi dari *Serial Com* Arduino IDE



Gambar 5. Grafik besaran suhu rata-rata dan perubahan suhu per hari

Sumber : Data Pribadi dari *Serial Com* Arduino IDE

Jadi, hasil analisis data menunjukkan bahwa penerapan alat dengan sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino sangatlah efektif untuk menjaga suhu ruang agar tetap optimal dalam melakukan proses fermentasi biji kakao. Hal tersebut ditunjukkan dengan suhu rata-rata yang mengalami kenaikan secara signifikan setiap 1 jam yakni sebesar 100 % dengan besaran perubahan suhu per hari yang mencapai 16.17° C. Suhu tidak mengalami penurunan yang drastis ke titik terendah yakni 35° C dan berada di interval rata-rata 40° C – 60° C per hari. Selain itu, suhu juga tidak mengalami kenaikan ke titik maksimal yaitu 60° C dan masih berada dibawah 55° C sehingga nilai

tersebut merupakan kondisi yang optimal dengan persentase sebesar 52.46 %. Perubahan suhu yang dihasilkan oleh alat dengan sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino tersebut artinya mampu dikendalikan oleh sistem.

Besar suhu rata-rata per hari yang berada di dalam kotak fermentasi mencapai nilai 40.95° C. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama pengujian alat dengan sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino nilai besaran suhu rata-rata berada pada interval 40° C juga. Data juga ditunjukkan melalui grafik pada **Gambar 5** sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu rata-rata selama 5 hari pengujian alat berada pada kondisi yang optimal. Grafik di atas juga menunjukkan bahwa apabila suhu rata-rata semakin besar, maka perubahan suhu semakin menurun sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu rata-rata pada model ruang yang dirancang untuk proses fermentasi biji kakao tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kondisi tersebut merupakan standar utama agar proses fermentasi biji kakao dapat berjalan dengan efektif sehingga kualitas biji kakao yang diproduksi memiliki cita rasa dan aroma yang khas.

Adapun besaran suhu optimal dan menjadi standar utama dalam melaksanakan proses fermentasi biji kakao adalah 40° C - 60° C. Melalui data yang diperoleh selama pengujian dengan penghitungan nilai suhu rata-rata, perubahan suhu per hari dan juga selama 1 jam serta persentasenya dapat membuktikan bahwa alat yang dijalankan mampu mengukur dan mengendalikan besaran suhu agar sesuai dengan batas interval. Keberhasilan alat yang dirancang tersebut dapat membantu produsen biji kakao dalam proses fermentasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan mengenai “Sistem Pengukuran Model Ruang Fermentasi Biji Kakao Berbasis Arduino” dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil pengujian selama 4 hari berturut-turut bahwa dapat disimpulkan suhu yang berada di dalam kotak fermentasi mengalami peningkatan suhu sampai 44° C dengan kenaikan suhu sebesar 1.36 % per jam dari kondisi awal suhu 29.89° C . Besar suhu ini merupakan kondisi yang optimal mengingat kondisi suhu yang harus terjaga untuk melakukan proses fermentasi biji kakao ialah berada pada interval 40° C - 60° C.
2. Titik terpanas suhu terjadi pada hari kedua dimana suhu rata-rata mencapai 43.47° C, kemudian mengalami penurunan dihari keempat dikarenakan alat/sistem sempat dimatikan.
3. Sensor LM35 dapat diterapkan untuk mengukur dan memantau besar suhu dengan mengubah *output*-nya menjadi besaran analog untuk proses fermentasi biji kakao.
4. Pemasangan dua buah relay yang masing-masing terhubung ke lampu dengan daya 40 watt dan kipas

pendingin dengan daya 12 V_{DC} mampu mengendalikan suhu panas di dalam kotak fermentasi dengan dikoneksikan ke mikrokontroler arduino uno.

5. Setelah menerapkan alat yang menerapkan konsep sistem pengukur suhu model ruang fermentasi biji kakao berbasis arduino, kondisi suhu ruangan saat proses fermentasi dapat dipantau dan dikendalikan secara otomatis dan sangatlah efektif untuk membantu para produsen biji kakao dalam melakukan proses fermentasi.

Daftar Acuan

- [1] Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 15 Agustus 2013. Kotak Engkol, Mempermudah Fermentasi Kakao. *Jurnal* <https://www.litbang.pertanian.go.id/info-aktual/1509/>.
- [2] Anonim. 2004. Panduan lengkap budi daya kakao. Jakarta. Penerbit PT. Agromedia Pustaka Depok. Di akses pada 22 oktober 2016. <https://books.google.co.id/books?id=tteoCgAAQB-AJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [3] Muthmainah Gonibala1; Ir. Handry Rawung, M.Si.; Ir. Maya M. Ludong, M.S.; 2021 KAJIAN FERMENTASI BIJI KAKAO (Theobroma Cacao L.) MENGGUNAKAN FERMENTOR TIPE KOTAK DINDING GANDA DENGAN AERASI. *E-Journal Teknik Pertanian Fakultas Pertanian UNSRAT* <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/cocos/article/viewFile/22508/22199>
- [4] Aldy Razor. 2020. Modul Relay Arduino: Pengertian, Gambar, Skema, dan Lainnya. <https://www.aldyrazor.com/2020/05/modul-relay-arduino.html#:~:text=dan%20fungsi%20relay-Pengertian%20Relay%20Arduino.sebaliknya%20dengan%20memanfaatkan%20tenaga%20listrik>.
- [5] Rafika, A., S., Sudaryono, and Andoyo, W., D., (2015). Prototype Perancangan Sistem Otomatis Pembaca Suhu Ruangan menggunakan Output Kipas dan Sensor LM35 berbasis Mikrokontroler ATMEGA 16, Jurnal CCIT Universitas Raharja, Vol.8 No.2, pp 102-111.
- [6] A. Rahardjo, “Rancang Bangun Aplikasi Pengaturan Dan Pengendalian Suhu Ruang Server Berbasis Web Service Dan Sms Gateway,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [7] Ir. I Ketut Arsa Wijaya, M.Si. 2017. KAJIAN TENTANG PENGARUH TEMPRATUR TERHADAP HASIL FERMENTASI BIJI KAKAO (Theobroma cacao L.) PETANI DI KABUPATEN TABANAN. Jurnal Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian. Universitas Udayana. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/339c9c3f4958491ff4ba220181669de6.pdf
- [8] M. A. Badruzzaman, 2010. “Simulator Saklar Otomatis Kipas Angin Menggunakan Sensor Suhu,”. Panduan Komponen Sensor Suhu. PT. Sinar Kasih Elektronika Sangatta. Kutai Timur. Kalimantan Timur. *Halaman* 55-62.
- [9] S. I. Langi, J. O. Wuwung, and A. S. M. Lumenta, 2014. “Kipas Angin Otomatis Dengan Menggunakan Sensor Suhu,” E - Journal Tek. Elektro dan Komputer., pp. 41 –48. Fakultas Teknik. Universitas Sam Ratulangi. Manado. <file:///C:/Users/user/Downloads/6275-12224-1-SM.pdf>
- [10] Zamisyak Oby. 2021. “Penjelasan Bagian dan Pin Arduino Uno”. <https://kelasarduino.com/penjelasan-bagian-dan-pin-arduino-uno/>
- [11] Ad Oktaf. 02 Oktober 2018. SENSOR LM 35. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. <https://mikrokontroler.mipa.ugm.ac.id/2018/10/02/sensor-lm-35/>
- [12] Sabat Anwari, Parwito Parwito, Andika Musbar Nursalam. 2017. MONITORING SUHU RUANG BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SISTEM KOMUNIKASI WIRELESS NRF24L01. E-Journal ITENAS. *Vol.* 5, *No.* 2. <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekaelkomika/article/view/1427>
- [13] M. Habib Al Khairi. 17 April 2021. “Menggunakan Sensor Suhu LM35 dengan Arduino dan Tampilan LCD”. <https://www.mahirelektro.com/2020/03/tutorial-arduino-mengakses-sensor-suhu-LM35.html>
- [14] Adjie. 30 Agustus 2019. “Cara Penggunaan Module Relay 2 Channel Arduino” <http://indomaker.com/index.php/2019/08/30/cara-penggunaan-module-relay-2-channel-arduino/>