

Perancangan Bangun Sistem Kontrol Proses pada Alat Pengeringan Biji Kakao

Design of Process Control System for Cocoa Bean Drying Equipment

¹Ira Dwitasari*), ¹Ahmad Radhy, ¹Putu Eka Widya Pratama ¹Murry Raditya, dan ¹Hagai Yemima

¹Safety Instrumented System Laboratory, Instrumentation Engineering Department, Faculty of Vocation,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 60111, Surabaya, Indonesia

*) corresponding email: ira.dwitasari@its.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan angka produksi kakao di Indonesia tidak diimbangi dengan kualitas produksinya, dimana proses pengeringan menjadi parameter penting yang harus dikontrol. Suhu pengeringan yang terlalu tinggi cenderung berdampak negatif pada biji, yaitu akan muncul aroma asam serta biji kakao dapat menjadi hangus. Kadar air pada biji kakao perlu dikurangi maksimal 7,5% agar menjadi biji kakao yang berkualitas. Penelitian ini mengembangkan pembuatan alat box pengering biji kakao dengan sistem kontrol proses pengeringan, *monitoring* temperatur dan kelembapan oleh sensor SHT20. Terdapat sensor DS18B20 untuk mengukur suhu biji kakao saat pengeringan. Digunakan dua mikrokontroler yaitu STM32 sebagai kontrol dan menampilkan pembacaan sensor pada LCD, serta ESP32 yang terhubung dengan STM32 untuk mengirimkan data pada *dashboard* dan *database*. Proses pengeringan memanfaatkan *heater* sebagai elemen pemanas hingga pembacaan temperatur pada sensor SHT20 $\leq 55^{\circ}\text{C}$. Ketika *heater* non-aktif, akan ada *fan* yang aktif untuk menurunkan temperatur pengeringan untuk menjaga proses pengeringan berjalan pada temperatur optimal dan mencegah kerusakan biji kakao. Hasil pengujian proses pengeringan biji kakao selama 24 jam dengan pengambilan data tiap 1 jam dimana data *real-time* tersimpan dalam *online dashboard*, didapatkan rata-rata temperatur ruang kotak pengeringan adalah 51°C , rata-rata temperatur biji kakao adalah 42°C , dan rata-rata kadar air biji kakao adalah 7,5%.

Kata Kunci: sistem pengeringan, kakao, heater, pengendalian temperatur

Abstract

The growth in cocoa production in Indonesia is not matched by its quality, where the drying process is a crucial parameter that must be controlled. Excessively high drying temperatures tend to negatively impact the beans, resulting in a sour aroma, and the beans can become charred. The moisture content in cocoa beans needs to be reduced to a maximum of 7.5% to produce quality cocoa beans. This research developed the creation of a cocoa bean drying box with a drying process control system, temperature and humidity monitoring by the SHT20 sensor. There is a DS18B20 sensor to measure the temperature of the cocoa beans during drying. Two microcontrollers are used: STM32 as a control and displays sensor readings on the LCD, and ESP32 connected to the STM32 to send data to the dashboard and database. The drying process utilizes a heater as a heating element until the temperature reading on the SHT20 sensor is $\leq 55^{\circ}\text{C}$. When the heater is inactive, a fan will be active to lower the drying temperature to maintain the drying process at an optimal temperature and prevent damage to the cocoa beans. The results of testing the cocoa bean drying process for 24 hours with data collection every 1 hour, where *real-time* data is stored in the *online dashboard*, obtained the average temperature of the drying box room is 51°C , the average temperature of the cocoa beans is 42°C , and the average moisture content of the cocoa beans is 7.5%.

Keywords: drying system, cocoa, heater, temperature control

Makalah diterima 03 Agustus 2025– makalah direvisi 07 September 2025– disetujui 23 September 2025

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1 Pendahuluan

Indonesia memiliki beragam komoditas perkebunan yang prospektif di dunia, salah satunya adalah komoditas kakao. Berdasarkan data dari International Cocoa Organization (ICCO), pada tahun 2023, Indonesia termasuk dalam jajaran 4 negara penghasil kakao terbesar di dunia. Selain itu, Indonesia merupakan negara produsen kakao terbesar di Asia. Badan Pangan Nasional menyebutkan bahwa hasil produksi kakao dalam negeri mencapai 641.700 ton pada tahun 2023. Namun tingginya angka produksi kakao tersebut tidak diimbangi dengan kualitas produksinya. Kualitas biji kakao yang dihasilkan masih sangat rendah dan bervariasi. Faktor penyebabnya adalah proses produksi yang kurang memadai, ukuran biji yang tidak seragam, kandungan cangkang tinggi, keasaman tinggi, serta rasa yang bervariasi dan tidak konsisten [1]. Penanganan biji kakao pasca panen yang tepat dapat meningkatkan kualitasnya. Salah satu tahap penting dalam pengolahan biji kakao adalah proses pengeringan. Pada umumnya pengeringan biji kakao dilakukan secara konvensional

dengan memanfaatkan sinar matahari langsung. Waktu yang dibutuhkan untuk menjemur biji kakao yaitu 5-7 hari tergantung cuaca [3] (S. E. Aris, et. Al, 2020). Pada saat musim hujan, biji kakao tidak boleh terkena sinar matahari karena akan berkecambah, menjadi hitam, dan membusuk. Parameter penting yang harus dikontrol selama proses pengeringan adalah suhu. Parameter suhu akan mempengaruhi kecepatan proses pengeringan. Namun, suhu pengeringan yang terlalu tinggi sebaiknya dihindari karena cenderung berdampak negatif pada biji, yaitu akan muncul aroma asam serta biji kakao dapat menjadi hangus [2] (Baihaqi et al., 2016). Hal ini juga dipaparkan pada riset lain yang menyatakan bahwa suhu pengeringan yang terlalu tinggi akan meningkatkan laju pengeringan sehingga memberikan efek negative pada biji kakao. Biji kakao akan mengalami penghalangan oksidasi asam asetat sehingga kandungan asam dalam biji kakao akan berlebih. Kandungan asam yang berlebihan pada akhirnya akan mempengaruhi aroma atau rasa dari biji-bijian. Sementara, laju pengeringan yang terlalu lambat akan memantik pertumbuhan jamur pada biji sehingga muncul aroma tidak sedap [1] (Wahyuni et al., 2020). Suhu optimal pada proses pengeringan biji kakao yaitu 55°C [4] (Ifmalinda et al., 2023). Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya dengan data parameter suhu dalam pengeringan biji kakao pada rentang 55°C - 65°C [1] (Wahyuni et al., 2020). Namun, pada penelitian lain disebutkan bahwa mesin pengering dengan suhu 60°C - 70°C menghasilkan biji kakao dengan rasa asam dan kurangnya cita rasa khas biji kakao [5] (Zamzami et al., 2018). Kadar air pada biji kakao perlu dikurangi agar dapat menjadi biji kakao yang berkualitas. Berdasarkan ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) 2323:2008, biji kakao yang berkualitas adalah yang memiliki kadar air maksimal 7,5%.

Metode pengeringan menggunakan *modified greenhouse dryers* bertujuan untuk meningkatkan kualitas biji kakao dan efisiensi waktu pengeringan. Pada penelitian Frederick, dkk (2022), metode ini dapat meningkatkan kandungan total fenol, flavonoid, dan tanin terkondensasi serta menurunkan kadar air pada biji kakao dalam waktu 27 jam. Pengeringan biji kakao menggunakan metode *swirling fluidized bed* dapat mengurangi kandungan air pada biji kakao selama 2 hari, dimana waktu ini merupakan 5 kali lebih singkat dibanding metode konvensional. Pemasangan alat *swirling fluidized bed dryer* menggunakan kolom unggun terfluidisasi berdiameter 108 mm dengan satu distributor berlubang dengan sudut kemiringan 45°. Menurut Zulkarnain, dkk (2020), pemasangan alat ini membutuhkan ruang instalasi yang cukup luas. Penelitian Veira, dkk (2019), desain sistem otomatis dengan PLC pada fermentor biji kakao dan mesin pengering *rotary drum* dapat membatasi pada suhu fermentasi pada 30°C hingga 43°C dan 40°C hingga 55°C pada mesin pengering biji kopi. Penelitian Furtado, dkk (2022) menunjukkan perancangan sistem otomatis pada mesin pengering menggunakan mikrokontroler ESP8266-12E dengan penyimpanan data sensor menggunakan aplikasi Data Silo sehingga dapat memicu kipas sentrifugal secara *real-time*.

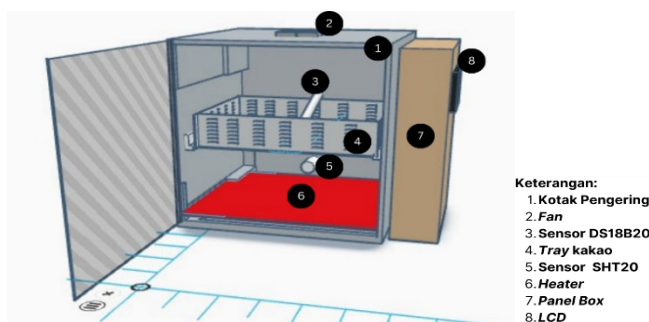
Pada penelitian ini, penulis merancang box pengering biji kakao dengan kontrol temperatur menggunakan *heater* sebagai pemanas dan *fan* sebagai penurun temperatur. Sensor yang digunakan terdapat 2 jenis, yaitu sensor SHT20 untuk mengukur suhu pada ruang pengering dan sensor DS18B20 untuk mengetahui suhu didalam biji kakao. Sensor yang melakukan pembacaan suhu ruang akan menjadi input bagi *relay* yang akan mengaktifkan dan mematikan *heater* dan *fan*. Sistem kontrol temperatur ini menggunakan mikrokontroler STM32, kemudian data yang diterima melalui sensor akan disimpan pada *cloud database* dan ditampilkan melalui *online dashboard*. Perancangan alat box pengering dengan sistem kontrol temperatur ini bertujuan untuk meningkatkan produktifitas pengeringan biji kakao dengan parameter temperatur yang lebih stabil sehingga dapat meningkatkan kualitas biji kakao. Selain itu, sistem *monitoring* pada alat ini dapat menampilkan data secara *real time* ke dalam *online dashboard* sehingga meningkatkan *traceability* sensor dan alat serta *historical data* yang tersedia dapat memudahkan analisis data untuk pengoptimalan kinerja alat.

2 Metode

2.1 Tahapan Penelitian

Tahap ini merupakan awal mula perancangan penelitian. Penulis melakukan studi literatur melalui berbagai jurnal untuk mengetahui penelitian-penelitian terdahulu. Tahapan ini bermanfaat untuk menambah pengetahuan dasar penulis dalam merancang proyek penelitian.

Tahap selanjutnya dilakukan perancangan alat pengering berbentuk kotak seperti pada Gambar 1. Kotak dengan tinggi 30 cm dan lebar 30 cm yang menggunakan besi galvalum sebagai bahan penyusun kotak, pembuatan lubang pada rak penadah biji kakao untuk meratakan penyebaran panas pada biji kakao yang sedang dikeringkan, *panel box* yang dilengkapi dengan LCD pada bagian samping kotak pengering, *fan*, sensor DS18B20 dan SHT20 dan *heater*. Sensor SHT20 berada pada dinding kotak pengering diantara *heater* dan rak penadah sebagai pembaca temperatur dan kelembapan ruang pengeringan biji kakao dan sensor DS18B20 ditancapkan pada biji-biji kakao yang ada pada rak penadah biji kakao untuk membaca temperatur biji kakao selama proses pengeringan.

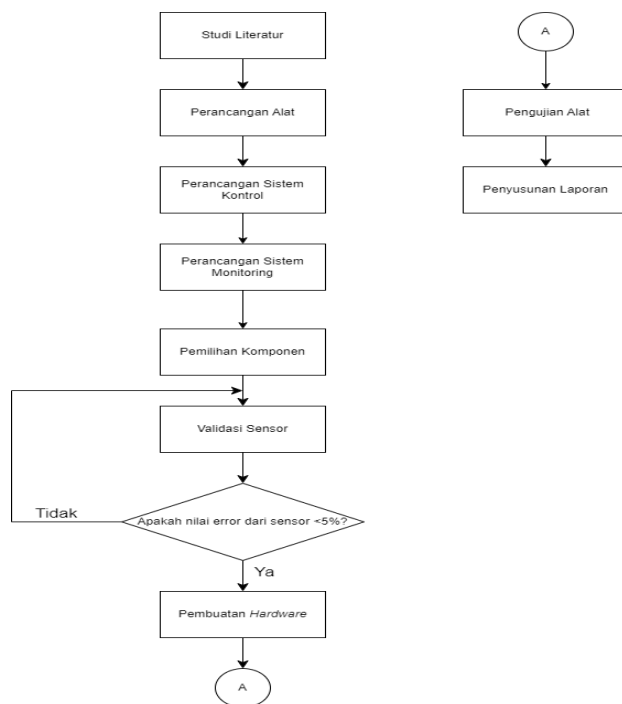


Gambar 1. Detail *engineering design*.

Dengan spesifikasi alat-alat tersebut ditentukan temperatur yang harus dicapai oleh *heater* sebesar 55°C, kadar air biji kakao yang harus dicapai 7,5% dan waktu pengeringan 24 jam. Perancangan sistem kontrol dan sistem *monitoring* akan dilakukan serta sensor yang dipakai (DS18B20 dan SHT20) akan diprogram dengan mikrokontroler dimana validasi sensor dilakukan terlebih dahulu untuk membuktikan bahwa sensor berfungsi dengan tepat dalam melakukan pendeteksian dan pengukuran terhadap suhu dan kelembapan.

Pengujian pembacaan temperatur dan kelembapan sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor SHT20 (temperatur dan kelembapan) dan sensor DS18B20 (temperatur) pada LCD dengan hasil pembacaan validator UT-333S dimana sensor diletakkan di atas panci elektrik yang berisi air sebagai objek yang akan dipanaskan dan dibaca temperatur udara selama proses pemanasan air. Variasi pengujian dilakukan dengan pemanasan air sehingga suhu naik, dan penurunan suhu air yang telah dipanaskan. Sensor temperatur SHT20 nantinya akan dijadikan sebagai sensor yang hasil pembacaannya akan menjadi masukan bagi sistem kontrol pada aktuator, hasil pembacaan kelembapan sensor SHT20 akan menunjukkan kondisi kelembapan ruang pengeringan selama proses pengeringan dan hasil pembacaan temperatur sensor DS18B20 menunjukkan temperatur pada biji kakao selama proses pengeringan.

Kemudian dilakukan pemrograman validasi sensor, dengan *input library* sensor suhu dan kelembapan dimana program akan menginisiasi *input output* sensor tersebut. Ketika sensor berhasil melakukan pendeteksian suhu dan kelembapan, maka hasil pembacaan sensor akan diterima oleh mikrokontroler dan datanya akan muncul di serial monitor. Hasil *error* pembacaan sensor yang muncul di LCD kemudian akan ditinjau apakah nilai *error* kurang dari 5% atau tidak. Jika data validasi menghasilkan nilai *error* >5% maka akan dilakukan proses inisiasi ulang *input output* sensor. Tahap berikutnya adalah pembuatan *hardware* alat pengering dan pengujian atas alat tersebut serta pembuatan sistem *monitoring* untuk dapat menampilkan data hasil pengujian alat secara *real time* ke dalam *online dashboard*.



Gambar 2. Metodologi penelitian.

2.2 Perancangan Alat, Sistem Kontrol dan *Monitoring*

Pelat *heater* berfungsi sebagai pemanas yang ditempatkan di bagian bawah kotak pengering biji kakao agar penyebaran panas dapat merata. Untuk mencegah terjadinya panas yang berlebih, diletakkan *fan* pada bagian atas kotak pengering yang berfungsi untuk menurunkan suhu. Pada proses pengeringan di kotak pengering biji kakao ditetapkan *temperature set point* yaitu 55°C sehingga ketika suhu masih berada di bawah 55°C, *heater* akan terus aktif dengan kondisi *fan* non-aktif. Sementara itu, ketika suhu melebihi 55°C, kondisi *heater* akan non-aktif dan *fan* akan aktif untuk memulai proses penurunan suhu pengeringan.

Dalam melakukan pengamatan hubungan penurunan suhu biji kakao dengan daya yang digunakan pada proses penurunan kadar air (pengering), diperlukan penghitungan kesetimbangan energi panas yang dibutuhkan dengan persamaan:

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (1)$$

$$Q_{in} = P \cdot t \quad (2)$$

$$Q_{out} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

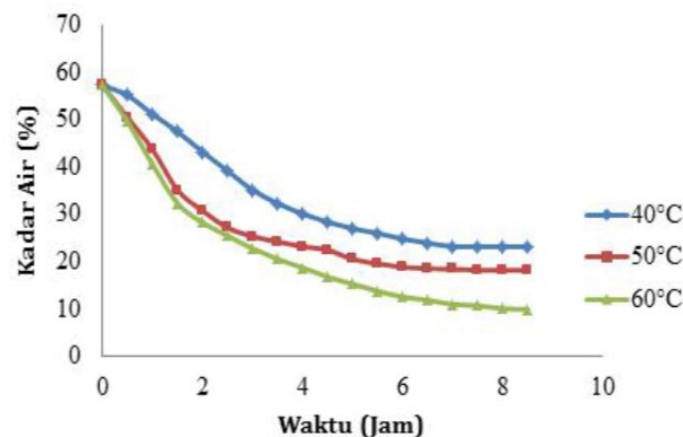
$$P \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4)$$

Dimana Q_{in} adalah daya *heater* (watt), Q adalah kalor yang dibutuhkan (J), m adalah massa/berat biji kakao (kg), c adalah kapasitas panas spesifik biji kakao (2,225176 kJ/kg °C) (Risano dkk., 2017) dan ΔT adalah suhu akhir biji kakao dikurangi suhu awal biji kakao (°C). Dengan didapatkannya nilai kalor yang dibutuhkan, dapat diukur daya yang digunakan selama proses pengeringan hingga penurunan kadar air tertentu dengan persamaan :

$$P = \frac{W}{t} \quad (5)$$

Dimana P adalah daya (watt), W adalah usaha (joule) dan t adalah waktu pengeringan (*second*)

Sedangkan untuk penurunan kadar air berdasarkan kontrol temperatur proses pengeringan, digunakan acuan dari jurnal [11] dengan grafik pada Gambar 3.



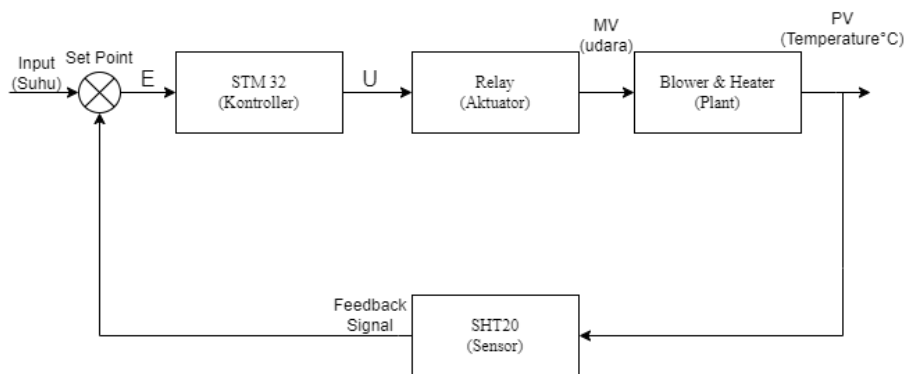
Gambar 3. Acuan penurunan kadar air berdasarkan variasi temperatur dan waktu.

Dalam proses pengeringan, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pengeringan menurut Rodanelli, dkk (2019), di antaranya adalah temperatur pengeringan, aliran udara pengeringan, dan kelembapan udara pengeringan.

Kadar air dapat dipahami sebagai jumlah air yang terkandung di dalam suatu bahan dan dapat dinyatakan berdasarkan 2 kategori yaitu berat basah (*wet basis*) atau berat kering (*dry basis*). Selain itu, kadar air berperan sebagai faktor penting dalam penentuan kualitas pada proses pengeringan yang sedang dijalankan dan waktu pengeringan yang dibutuhkan. Dalam menghitung kadar air, digunakan perhitungan matematis berdasarkan Mujumdar, dkk (2020) sesuai persamaan 6.

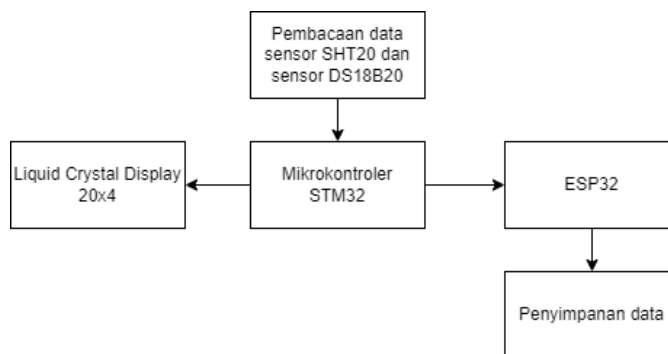
$$\text{Kadar Air Pengeringan} = \frac{W_{awal} - W_{akhir}}{W_{awal}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana W_{awal} adalah berat awal bahan sebelum pengeringan dan W_{akhir} adalah berat bahan setelah proses pengeringan.



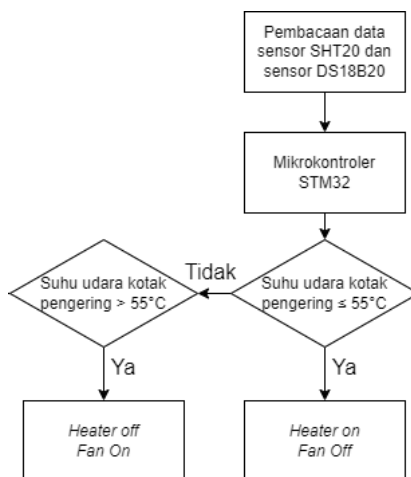
Gambar 4. Blok diagram sistem kontrol alat pengering biji kakao.

Gambar 4. merupakan blok diagram sistem kontrol alat pengering biji kakao yang dirancang dengan *closed loop control system*. *Process variable* (PV) yang dikontrol adalah temperatur ruang pengeringan dengan *manipulated variable* (MV) adalah daya heater. Mikrokontroler STM32 sebagai *controller* mendapatkan sinyal feedback dari hasil pembacaan temperatur ruang pengeringan oleh sensor SHT20. *Controller* akan mengirimkan sinyal perintah menuju aktuator sesuai dari sinyal *feedback* hasil pembacaan sensor terhadap *temperature set point* yang telah diatur (55°C). Apabila pembacaan temperatur di bawah *set point* maka *controller* akan memerintah aktuator *relay* untuk mengaktifkan *heater* dan me-non-aktifkan *fan*.



Gambar 5. Diagram alir sistem *monitoring*.

Gambar 5. merupakan diagram alir dari sistem *monitoring* pada *plant* pengeringan biji kakao. Hasil pembacaan sensor SHT20 dan sensor DS18B20 akan masuk ke mikrokontroler STM32 sebagai elemen pemrosesan sinyal dari masukan kedua sensor tersebut. Kemudian, hasil pembacaan tersebut akan ditampilkan pada LCD sebagai elemen presentasi data. Selain pada LCD, mikrokontroler juga disambungkan dengan ESP32 menggunakan jenis komunikasi UART yang menghubungkan pin RX (*Receiver*) TX (*Transmitter*) pada STM32 dengan pin RX (*Receiver*) TX (*Transmitter*) pada ESP32. Setelah itu, melalui data yang dikirimkan oleh STM32 dan ditangkap oleh ESP32, selanjutnya data hasil pembacaan sensor SHT20 dan sensor DS18B20 tersebut akan disimpan pada *database*.

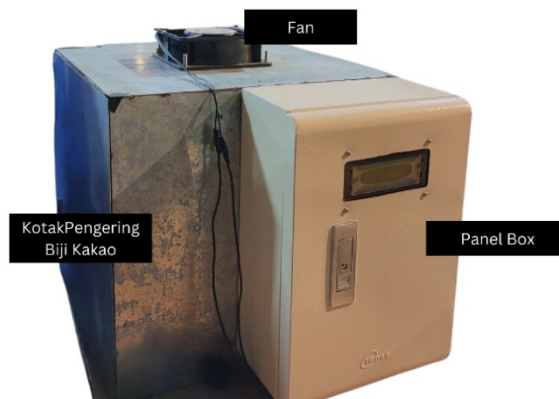


Gambar 6. Alur kerja alat pengering.

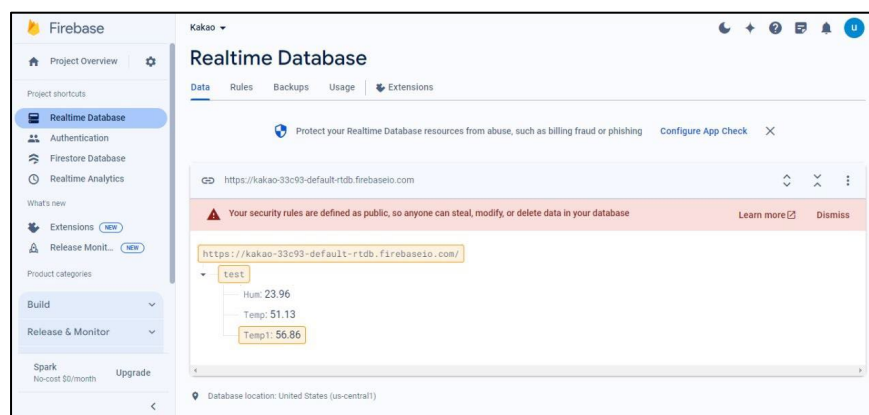
Gambar 6 merupakan alur kerja sistem pengeringan biji kakao secara keseluruhan. Ketika SHT20 dan DS18B20 melakukan pembacaan, masing-masing hasil pembacaannya akan menjadi sinyal input bagi STM32. Namun, yang menjadi masukan untuk kontrol temperatur adalah sensor SHT20 yang berfungsi untuk melakukan pembacaan temperatur ruang pengeringan, sedangkan sensor DS18B20 berfungsi untuk pembacaan suhu biji kakao yang berguna dalam sistem *monitoring* pembacaan suhu biji kakao pada sistem kontrol yang dibuat. Pembacaan sensor diubah menjadi sinyal elektrik dimana melalui elemen pengondisian sinyal akan ditransmisikan ke mikrokontroler STM32. Mikrokontroler STM32 pada blok pengukuran berperan sebagai pemroses sinyal untuk mengubah sinyal menjadi nilai terukur berupa pembacaan suhu biji kakao dan suhu udara kotak pengering yang selanjutnya nilai terukur tersebut akan divisualisasikan pada LCD sebagai *data presentation*. Pada perancangan alat ini diatur temperatur *set point* 55°C sehingga ketika hasil pembacaan sensor SHT20 menunjukkan suhu udara kotak pengering di atas 55°C, maka *relay* 1 akan aktif untuk menyalakan *fan*. Sementara, ketika pembacaan suhu sensor SHT20 menunjukkan suhu udara kotak pengering di bawah dan sama dengan 55°C, maka *relay* 2 akan berganti menjadi aktif untuk menyalakan *heater* dan kondisi *fan* akan mati.

3 Hasil dan Diskusi

Mekanik kotak pengering dipasangkan *heater* berukuran 30 cm x 30 cm dengan bahan stainless steel sebagai sumber panas proses pengeringan, *fan* AC 5V berbahan dasar plastik sebagai komponen yang berfungsi menurunkan temperatur proses pengeringan, sensor SHT20 di antara *heater* dan rak penadah sebagai pembaca temperatur dan kelembapan ruang pengeringan biji kakao, sensor DS18B20 yang ditancapkan pada biji kakao untuk membaca temperatur biji kakao selama proses pengeringan, rak penadah biji kakao dengan lubang berukuran 0,1 cm dengan maksud agar panas yang dihasilkan oleh *heater* dapat secara rata merambat pada biji kakao pada rak tersebut yang akan dikeringkan. Rak penadah biji kakao memiliki kemampuan menampung biji kakao hingga 5 kg. Selain itu, hasil pembacaan temperatur SHT20 juga berfungsi sebagai *input* untuk mengaktifkan *heater* dan *fan* sesuai dengan *set point* 55°C. Gambar 7 menunjukkan bentuk kotak alat pengeringan biji kakao dengan spesifikasi terlampir pada Tabel 1.



Gambar 7. Hardware kotak alat pengeringan biji kakao.



Gambar 8. Hasil pembacaan sensor pada *spreadsheet*.

Data hasil pembacaan sensor SHT20 dan sensor DS18B20 pada Gambar 8 tersimpan setiap 1 menit pada *spreadsheet*. Database ini berfungsi untuk membantu pengambilan dan pengolahan data proses pengeringan biji kakao.

Tabel 1. Spesifikasi alat pengering biji kakao.

Nama Alat	Fungsi	Spesifikasi
Sensor SHT20	Sensor pembacaan temperatur dan kelembapan, dimana komponen yang akan membaca temperatur dari ruang pengering	<i>Humidity range</i> - %RH: 0 to 100 % <i>Accuracy</i> : ± 3 %RH <i>Supply voltage</i> : 2.1 to 3.6 V <i>Resolution</i> : 12 b <i>Operating temp range</i> : -40 to +125 °C
Sensor DS1820	Komponen yang akan membaca temperatur biji kakao.	<i>Power supply</i> : 3V – 5,5 V Konsumsi arus : 1 mA <i>Range</i> suhu : -55 sampai 1250 °C Akurasi : $\pm 0,5\%$ Resolusi : 9 – 12 bit Waktu konversi : < 750 ms Model : STM32F103C8T6
Mikrokontroler STM32	Mikrokontroller yang akan mengirimkan sinyal kontrol ke <i>relay</i> untuk kontrol <i>heater</i> dan <i>fan</i> serta sebagai pengirim data untuk menampilkan pembacaan sensor pada LCD 20X4	Model : STM32F103C8T6 <i>Core</i> : ARM32 Cortex-M3 CPU <i>Clock</i> : 72 MHz <i>Memory</i> : 64K Flash + 20K SRAM GPIO : 32 pin ADC : 10 channel dengan resolusi 12-bit PWM : 15 pin Koneksi : USART, USB, SPI, I2C, CAN BUS
<i>Heater</i>	Penyebaran panas dapat merata ke seluruh sisi pada proses pengeringan.	Berbentuk flat berukuran 30x30 cm, dengan material <i>Stainless Steel</i> , memiliki tegangan 220 V dan daya 300 W
<i>Fan</i>	<i>Fan</i> berbahan dasar plastik sebagai komponen yang berfungsi menurunkan temperatur proses pengeringan	Material plastik, tegangan AC 5 V
LCD	Menampilkan informasi berupa karakter alfanumerik dan simbol pada layar yang terdiri dari 20 kolom dan 4 baris, dengan total 80 karakter secara bersamaan.	Jenis LCD 20x4
<i>Panel Box</i>	Menempatkan rangkaian elektrik dari kotak pengering biji kakao sehingga rangkaian elektrik dapat terlihat rapi dan menjaga keamanan kelistrikan yang dihasilkan dari rangkaian elektrik.	Ukuran 20 cm x 30 cm x 12 cm dengan jenis kunci tekan.

3.1 Pengujian Validasi Sensor dan Pengujian Alat

Pengujian validasi sensor SHT20 (temperatur dan kelembapan) dan sensor DS18B20 (temperatur) dilakukan dengan jenis variasi pengujian yaitu suhu air yang dipanaskan dan penurunan suhu air yang telah dipanaskan untuk sensor temperatur serta suhu air yang dipanaskan dan penurunan kelembapan dari air yang telah dipanaskan. Pengambilan data yang dibaca oleh sensor pada tiap variasi dilakukan tiap 5 detik. Sehingga, sensor bekerja pada tiap variasi masing-masing selama 8 menit 20 detik. Atas pengujian tersebut didapatkan hasil pengukuran karakteristik statik yang terdiri atas *range*, *span*, akurasi, dan nilai *error* sesuai tabel berikut:

Tabel 2. Hasil pengukuran validasi sensor.

Karakteristik statik	Hasil uji validasi temperatur sensor SHT20	Hasil uji validasi kelembapan sensor SHT20	Hasil uji validasi temperatur sensor DS18B20
<i>Range</i> pengukuran	26,68 °C – 57,45 °C	64,4 °C – 90,8 °C	27,06 °C – 57,69 °C
<i>Span</i>	28,77 °C	26,4 °C	30,63 °C
Akurasi	96,77%	98,27%	96,49%
<i>Error</i>	3,23%	1,73%	3,51%

Dari hasil karakteristik statik di atas didapatkan bahwa sensor SHT20 dan sensor DS18B20 layak digunakan dengan nilai *error* dan akurasi yang baik, sebab nilai *error* yang didapatkan masih berada di bawah standar nilai maksimum *error* bagi sensor jika dibandingkan dengan standar nilai maksimum *error* sebesar 5% sehingga dapat dikatakan layak digunakan.

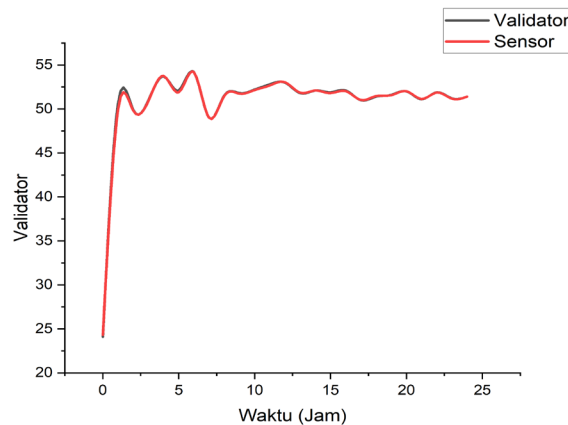
Ketika seluruh komponen sensor sudah dapat berfungsi dan layak digunakan dengan nilai *error* di bawah 5%, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian alat. Pengujian alat dilakukan dengan menjalankan proses

pengeringan pada biji kakao yang telah melalui tahap fermentasi. Pengujian alat dilakukan selama 24 jam dengan pengambilan data setiap 1 jam. Dari hasil pengujian itu akan dilihat respon dinamik dari tiga parameter pengukuran pada proses pengeringan tersebut, yaitu suhu ruang kotak pengering, suhu biji kakao, dan kelembapan ruang pengeringan. Selain itu, dilakukan juga pengujian alat dengan menghitung kadar air selama proses pengeringan. Perhitungan penurunan kadar air dilakukan dengan menimbang biji kakao setiap 30 menit selama 6 jam. Kemudian dari massa biji kakao yang terukur, dilakukan perhitungan untuk menghitung kadar airnya.

Setelah alat pengering berhasil digunakan, sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT sudah diterapkan, serta pembacaan sensor sudah berhasil diambil dan diolah datanya, akan dilakukan analisis keseluruhan kinerja alat pengering biji kakao serta bagaimana dampak dari pembuatan alat ini untuk proses dan hasil dari pengeringan biji kakao yang dilakukan.

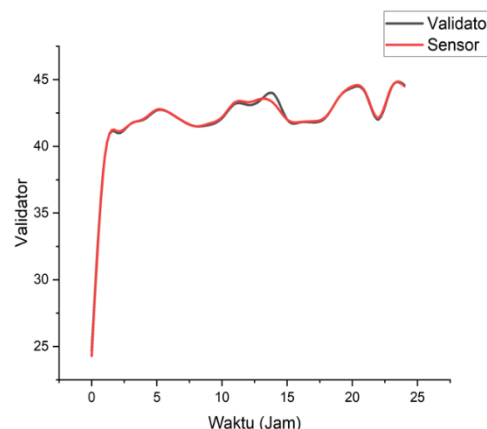
3.2 Pengujian Sensor Temperatur pada Sistem Pengeringan Biji Kakao

Pada pengujian alat, dilakukan proses pengeringan biji kakao. Pengambilan data pengeringan biji kakao dilakukan setiap 1 jam sekali selama 24 jam tanpa henti. Lokasi pengujian alat dilakukan di departemen Teknik Instrumentasi ITS yang dilaksanakan mulai dari pukul 01.33 WIB pada tanggal 29 Mei 2024 hingga pukul 01.46 pada tanggal 30 Mei 2024. Pengujian alat ini bertujuan untuk mengetahui performa alat serta pengaruhnya pada objek biji kakao yang dikeringkan.



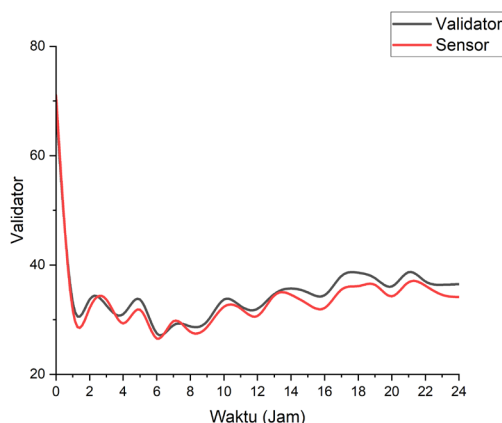
Gambar 9. Suhu lingkungan di dalam kotak pengeringan selama 24 jam.

Gambar 9 menunjukkan grafik pembacaan suhu ruang kotak pengering menggunakan sensor SHT20 dan validator UT333S. Suhu awal ketika alat baru saja dijalankan berdasarkan pembacaan sensor SHT20 adalah $24,3^{\circ}\text{C}$ dan berdasarkan pembacaan validator adalah $24,09^{\circ}\text{C}$. Kemudian, setelah 1 jam dijalankan proses pengeringan, suhu meningkat menjadi $49,83^{\circ}\text{C}$ berdasarkan pembacaan sensor SHT20 dan $50,6^{\circ}\text{C}$ berdasarkan pembacaan validator. Berdasarkan data yang diambil setiap 1 jam selama 24 jam, didapatkan nilai akurasi sensor 99,82% dengan error 0,2% dan range pengukuran $49,83^{\circ}\text{C} - 53,03^{\circ}\text{C}$. Dari 24 data yang didapatkan, rata-rata suhu ruang pada proses pengeringan tiap 1 jam yaitu 51°C . Kondisi tersebut juga menunjukkan bahwa di tiap 1 jam pengambilan data, kondisi komponen pengeringan yang sedang aktif adalah *heater* yang berfungsi untuk menaikkan suhu proses pengeringan. Sehingga, kondisi *fan* adalah non-aktif.



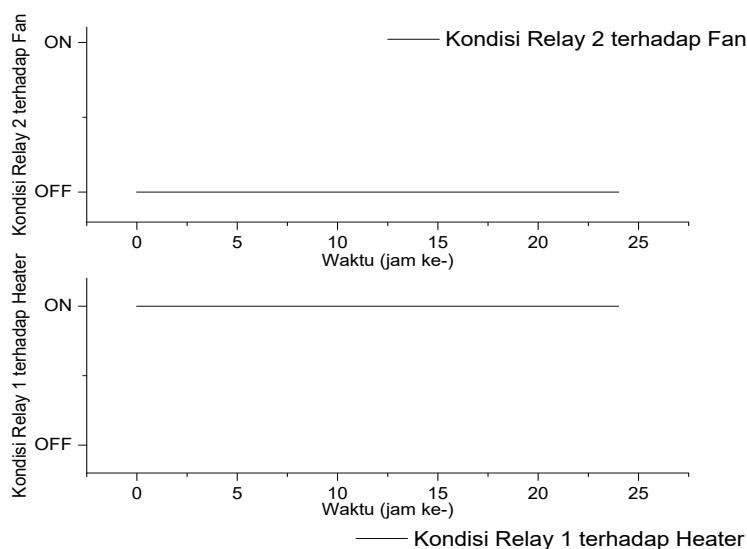
Gambar 10. Suhu biji kakao selama 24 jam.

Gambar 10 Menunjukkan grafik pembacaan suhu biji kakao yang sedang melalui proses pengeringan menggunakan sensor suhu DS18B20 dan validator UT333S. Berdasarkan data yang diambil setiap 1 jam selama 24 jam, didapatkan nilai akurasi sensor 99,73% dengan *error* 0,3% dan *range* pengukuran 24,3°C – 44,5°C. Dari 24 data yang didapatkan, rata-rata suhu biji kakao tiap 1 jam selama proses pengeringan yaitu 42°C. Pada awal ketika alat dinyalakan, suhu awal biji kakao berdasarkan pembacaan sensor adalah 24,3°C. Sementara itu, suhu awal biji kakao berdasarkan pembacaan validator adalah 24,69°C. Setelah pengeringan selama 1 jam, suhu biji kakao mengalami peningkatan menjadi 39,13°C berdasarkan pembacaan sensor DS18B20 dan 39,2°C berdasarkan pembacaan validator.



Gambar 11. Kelembapan ruang pengeringan selama 24 jam.

Gambar 11 Menunjukkan grafik pembacaan kelembapan ruang kotak pengering yang sedang melalui proses pengeringan menggunakan sensor SHT20 dan validator UT333S. Kelembapan awal ketika alat baru saja dijalankan berdasarkan pembacaan sensor SHT20 adalah 71% dan berdasarkan pembacaan validator adalah 69,1%. Setelah 1 jam dijalankannya proses pengeringan, ruang kotak pengeringan biji kakao mengalami penurunan kelembapan yang signifikan. Di mana, kelembapan ruang biji kakao menjadi 31,7% berdasarkan pembacaan sensor dan 33,1% berdasarkan pembacaan validator. Berdasarkan data yang diambil setiap 1 jam selama 24 jam, didapatkan nilai akurasi sensor 95,8% dengan *error* 4,2% dan *range* pengukuran 27,8% – 71,1%. Dari 24 data yang didapatkan, rata-rata kelembapan ruang kotak pengering pada 24 jam proses pengeringan yaitu 34,22%.



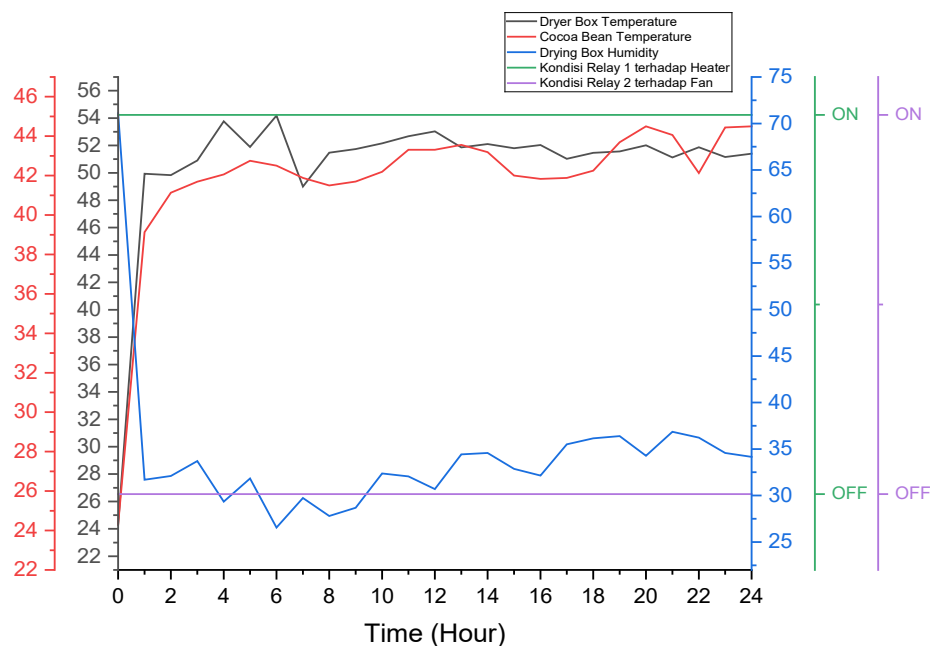
Gambar 12. Respons heater dan fan.

Gambar 12 merupakan respons aktuator *heater* dan *fan* berdasarkan hasil pembacaan sensor suhu ruang kotak pengering biji kakao. Pada sumbu x menunjukkan waktu pengeringan setiap 1 jam selama 24 jam, sementara pada sumbu y terdapat dua kondisi yaitu ON dan OFF. Berdasarkan hasil pembacaan sensor suhu ruang kotak pengering pada pengujian alat yang dicatat setiap 1 jam selama 24 jam, didapatkan respons *heater* stabil dalam kondisi ON. Ketika kondisi *heater* tersebut ON, hasil respons *fan* menunjukkan kondisi OFF. Sehingga, didapatkan bahwa proses pengeringan biji kakao ini berjalan dengan stabil sebab di setiap 1 jam selama 24 jam proses pengeringan, suhu pengeringan sedang melalui proses persebaran

suhu ruang dengan menggunakan *heater*. Kontrol temperatur telah bekerja dengan dibuktikan pada pengambilan data hingga 6 jam ketika temperatur ruang kotak pengering diatas 55°C maka sensor bekerja untuk menonaktifkan *heater* sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Data eksperimen *heater* non-aktif pada $T > 55^{\circ}\text{C}$.

Waktu	Temperatur	Keadaan <i>heater</i>	Keadaan <i>fan</i>
0	24,3	ON	OFF
30	57	OFF	ON
60	49,93	ON	OFF
90	57,32	OFF	ON
120	49,83	ON	OFF
150	56,93	OFF	ON
180	50,9	ON	OFF
210	57,18	OFF	ON
240	53,76	ON	OFF
270	54,03	ON	OFF
300	51,89	ON	OFF
330	55,02	OFF	ON
360	54,18	ON	OFF



Gambar 13. Grafik respon dinamik sensor pada pengeringan biji kakao selama 24 jam

Gambar 13 merupakan grafik respons dinamik dari pembacaan ketiga sensor dan respons aktuator *relay* yang berjalan dalam pengambilan data proses pengeringan biji kakao selama 24 jam. Grafik berwarna hitam menunjukkan grafik pembacaan suhu ruang kotak pengering menggunakan sensor SHT20, grafik berwarna merah menunjukkan grafik pembacaan suhu biji kakao menggunakan sensor DS18B20, dan grafik berwarna biru menunjukkan grafik pembacaan kelembapan ruang kotak pengering menggunakan sensor SHT20. Sementara itu garis lurus berwarna hijau pada grafik menunjukkan kondisi *relay* terhadap *heater*, dan garis lurus berwarna ungu pada grafik menunjukkan kondisi *relay* terhadap *fan*. Pada grafik respons dinamik menunjukkan bahwa setelah 1 jam, suhu ruang kotak pengering dan suhu biji kakao mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Sementara, kelembapan ruang kotak pengering selama 1 jam mengalami penurunan yang signifikan. Sehingga, dapat dipahami bahwa terdapat hubungan terbalik antara suhu ruang dan suhu biji kakao dengan kelembapan ruang. Selain itu, respons kedua aktuator menunjukkan bahwa dalam setiap pengambilan data tiap 1 jam, kondisi *heater* dan *fan* stabil meskipun grafik pembacaan suhu dan kelembapan

naik turun pada *range* tertentu. Setiap 1 jam, kondisi *relay* terhadap *heater* berada pada kondisi *ON* atau aktif, sementara kondisi *relay* terhadap *fan* di setiap 1 jam pengambilan data menunjukkan kondisi *OFF* atau non-aktif. Berbeda dengan ketiga grafik pembacaan sensor yang ketiganya sama-sama memberikan hasil pembacaan yang fluktuatif. Meningkatnya suhu pengeringan akan berpengaruh untuk mempercepat proses pengeringan. Selain itu, suhu biji kakao yang selalu di bawah suhu ruang kotak pengering menunjukkan kontrol suhu berfungsi untuk mencegah kerusakan pada biji kakao yang disebabkan oleh suhu yang berlebih. Penurunan kelembapan yang signifikan pada 1 jam pertama dijalankannya proses pengeringan yang disertai dengan grafik naik dan turun yang cukup stabil menunjukkan suhu pengeringan cukup efektif untuk mengurangi kelembapan pada proses pengeringan.

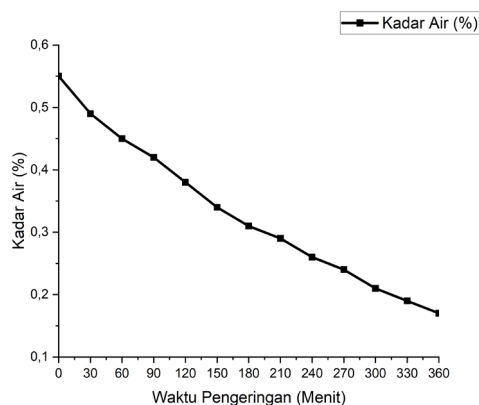
Berdasarkan pengujian alat yang telah dilakukan dan *plotting* grafik berdasarkan data yang dicatat, didapatkan hasil pengamatan bahwa terdapat hubungan terbalik antara suhu ruang dan suhu biji kakao dengan kelembapan ruang. Ketiga grafik tersebut sama-sama memberikan hasil pembacaan yang fluktuatif. Meningkatnya suhu pengeringan akan berpengaruh untuk mempercepat proses pengeringan. Selain itu, suhu biji kakao yang selalu di bawah suhu ruang kotak pengering menunjukkan kontrol suhu berfungsi untuk mencegah kerusakan pada biji kakao yang disebabkan oleh suhu yang berlebih. Penurunan kelembapan yang signifikan pada 1 jam pertama dijalankannya proses pengeringan yang disertai dengan grafik naik dan turun yang cukup stabil menunjukkan suhu pengeringan cukup efektif untuk mengurangi kelembapan pada proses pengeringan.

3.3 Pengujian Kadar Air Biji Kakao

Untuk pengujian kadar air, dilakukan proses pengeringan yang berlangsung selama 6 jam dengan lokasi di selasar departemen Teknik instrumentasi ITS. Pengambilan data berat biji kakao dilakukan setiap 30 menit pada rentang waktu pengeringan yaitu 21.26 WIB hingga 04.26 WIB. Terdapat lebih 1 jam sebab terpotong dengan waktu pengambilan biji kakao, menimbang biji kakao, dokumentasi biji kakao, dan mengembalikan biji kakao ke dalam kotak pengeringan yang di mana rangkaian proses tersebut dilakukan setiap 30 menit. Berdasarkan data Tabel 4 tersebut, dibuat grafik perbandingan kadar air terhadap waktu sesuai Gambar 14.

Tabel 4. Nilai penurunan kadar air

Waktu (menit)	Berat (gram)	Kadar air
0	978	55%
30	924	49%
60	885	45%
90	851	42%
120	807	38%
150	775	34%
180	744	31%
210	723	29%
240	693	26%
270	672	24%
300	643	21%
330	624	19%
360	606	17%



Gambar 14. Grafik hubungan kadar air terhadap waktu

Dalam 6 jam pengeringan biji kakao biji kakao kehilangan massa sebesar 372-gram serta mengalami penurunan kadar air sebanyak 38%. Standar pengeringan biji kakao adalah biji kakao harus memiliki kadar air maksimal 7,5%. Sementara, setelah melalui pengeringan selama 6 jam biji kakao masih perlu dikurangi kadar air sebanyak 9,5%. Oleh sebab itu, dihitung rata-rata penurunan kadar air dan didapatkan bahwa rata-rata biji kakao mengalami penurunan kadar air sebanyak 3% di setiap 30 menit waktu pengeringan. Sehingga, diperlukan penambahan waktu pengeringan selama 2 jam agar memperoleh biji kakao kering yang berkualitas dengan kadar air maksimal 7,5%. Dengan percobaan dan analisis tersebut, didapatkan bahwa waktu pengeringan yang tepat untuk menghasilkan biji kakao yang berkualitas sesuai standar kadar airnya adalah 8 jam waktu pengeringan.

Berdasarkan pengujian alat dengan menjalankan proses pengeringan biji kakao selama 24 jam, dihasilkan biji kakao yang berubah menjadi coklat tua dan kehitaman, di mana awalnya biji kakao berwarna coklat muda. Biji kakao yang sudah melalui proses pengeringan tersebut sudah tidak terdapat lengket ketika dipegang. Cangkang biji kakao hasil pengeringan tidak ada yang pecah, hal ini menunjukkan bahwa kontrol temperatur pada proses pengeringan biji kakao efektif untuk mencegah panas berlebih yang berpotensi pada kerusakan atau pecahnya biji kakao. Namun, meskipun biji kakao yang dalam kondisi yang baik, jika diukur berdasarkan penurunan kadar air, biji kakao tersebut termasuk dalam kondisi terlalu kering akibat proses pengeringan yang terlalu lama.

4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kontrol dan *monitoring* temperatur dan kelembapan yang dijalankan dengan sumber panas dari *heater* dan dengan bantuan *fan* untuk menurunkan temperatur, proses pengeringan biji kakao dapat terjaga temperatur proses pengeringannya. Dalam penelitian ini, pengujian alat dilakukan selama 24 jam melalui sistem kontrol yang menghasilkan temperatur ruang pengeringan biji kakao dapat terjaga di rata-rata suhu 51 °C, temperatur biji kakao selama proses pengeringan terjaga di rata-rata suhu 42 °C dan rata-rata kelembapan ruang kotak pengering adalah 34,22%. Saat dilakukan proses pengeringan temperatur ruang dan temperatur biji kakao berbanding terbalik dengan kelembapan ruang kotak pengering. Temperatur biji kakao berhasil terjaga selalu di bawah temperatur ruang dengan kontrol temperatur menggunakan *heater* dan *fan* yang mencegah kerusakan biji kakao akibat temperatur pengeringan yang berlebih. Berdasarkan hasil pengujian proses pengeringan tersebut, biji kakao yang dihasilkan dapat mencapai kondisi kering dengan warna menjadi coklat tua dan kehitaman. Biji kakao yang dihasilkan pun berkualitas baik tanpa adanya biji kakao yang mengalami pecah cangkang. Selain itu, dari proses pengujian kadar air, alat pengering biji kakao mampu menurunkan kadar air dengan memangkas waktu proses pengeringan.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan simulasi perpindahan panas untuk memaksimalkan efektifitas pembuatan alat, melakukan pengujian dengan biji kakao tanpa proses fermentasi agar dapat mengetahui variasi perbedaan kualitas pengeringan biji kakao hasil pasca panen, dan memberikan sensor pengukuran massa biji kakao untuk memudahkan perhitungan kadar air.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilakukan secara mandiri tanpa dibiayai oleh pihak lembaga atau institusi manapun.

Referensi

- [1] R. T. Wahyuni, D. Saputra, E. Susianti & A. Amirul, , "Alat Pemeras Lendir (Depulper) dan Pengering Biji Kakao Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)", *Jurnal Elektro Dan Mesin Terapan*, 6(2), 19–31, 2020. <https://doi.org/10.35143/elementer.v6i2.4431>
- [2] R. H. Baihaqi & Y. Abubakar, "Pengaruh Fasilitator Fermentasi dan Suhu Pengeringan Terhadap Kualitas Biji Kakao", *Florateg*, 11(2), 134–142. 2016, [Online] Available : <https://download.garuda.kemdikbud.go.id>
- [3] S. Endang , & A. Jumiono , "Faktor-Faktor Pasca Panen Yang Memengaruhi Mutu Kakao.", *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 74, 2020. <https://ojs.unida.info/JIPH/article/view/4610>
- [4] I. Ifmalinda, E. Saputra, D. Cherie. , "Pengaruh Suhu Pengeringan Terhadap Mutu Kakao (Theobroma Cacao L.) Varietas Klon BL 50 Pasca Fermentasi.", *Teknotan*, 17(2): 105-114, 2023. <https://jurnal.unpad.ac.id/teknotan/article/view/47318>
- [5] Z. Zamzami, R. A. Faresta, S. N. Agustina, A. Septiawan & A. M. Karisma, "Smart cacao dryer berbasis hybrid sebagai alat pengering biji kakao pada Kelompok Tani Tumbuh Subur", *Pro Food*, 2018. <https://profood.unram.ac.id/index.php/profood/article/view/70>

- [6] R. Hasibuan dan M. A. Alfikri Ridhatullah, "Pengaruh ketebalan bahan dan jumlah desikan terhadap laju pengeringan jahe (*Zingiber Officinale Roscoe*) pada pengering kombinasi surya dan desikan", *Jurnal Teknik Kimia USU* Volume 8, no. 2: 61–66. 2019. <https://doi.org/10.32734/jtk.v8i2.1882>.
- [7] At-Tasneem, M. A., Rao, N., Ya, T. & al., e., "Numerical simulation of multiple array arrangement of micro hydro power turbine," *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, VIII(5), pp. 963-969, 2014, [Online] Available : <https://core.ac.uk/outputs/159181714/>
- [8] N. S. Aziz, "Tidal energy resources assessment in Indonesia a case study in Alas strait", Master Thesis, School of Civil Engineering and the Environment, Faculty Of Engineering, Science and Mathematics, University of Southampton, 2009, [Online] Available : <https://repository.tudelft.nl/record>
- [9] L. Bai, "Electric drive system with BLDC Motor", *International Conference on Electric Information and Control Engineering*, Kuala Lumpur, Universiti Malaya, p. 254. 2011. <https://doi.org/10.1109/ICEICE.2011.5777507>
- [10] J. P. Bentley, *Principles of Measurement Systems*, Pearson Education Limited, 2005.
- [11] E. Castillo-Orozco, O. Garavitto, O. Saavedra, D. Mantilla, , "The drying kinetics and CFD multidomain model of cocoa bean variety CCN51", *MDPI Journal*, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12051082>
- [12] S. F. Dina, H. P. Limbong & S. M. Rambe, , "Rancangan Dan uji performansi alat pengering tenaga surya menggunakan pompa kalor (hibrida) untuk pengeringan biji kakao", *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(1), 21–33. 2018. <https://doi.org/10.26578/jrti.v12i1.3794>
- [13] W. G. Habibi, "Aplikasi logika fuzzy untuk pengontrolan suhu pada pengeringan biji kakao", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Indonesia, 2017.
- [14] R. Hayati, Y. Yusmanizar, M. Mustafiril, , & H. Fauzi, "Kajian fermentasi dan suhu pengeringan pada mutu kakao (*Theobroma cacao L.*)", *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 2012. <https://journal.ipb.ac.id/jtep/article/view/7430>
- [15] M. Huda & W. Kurniawan, "Analisa sistem pengendalian temperatur menggunakan sensor ds18b20 berbasis mikrokontroler Arduino." *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(02), 18-23, 2022, [Online] Available : <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/47897>
- [16] I. Ifmalinda, E. Saputra & D. Cherie, , "Pengaruh suhu pengeringan terhadap mutu kakao (*Theobroma cacao L.*) varietas klon BL 50 pasca fermentasi". *Teknotan*, 17(2), 105, 2023. <https://doi.org/10.24198/jt.vol17n2.4>
- [17] R. J. Irsyad, "Rancang bangun mesin pengering biji kakao dengan mekanisme rotary" Proyek Akhir, Jurusan Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Indonesia, 2019.
- [18] C. N. Karinda, X. B. N. Najoran & M. E. I. Najoran, "Design and implementation IoT in monitoring neighbourhood security based on mobile application and Raspberry Pi". *Jurnal Teknik Informatika*, 2021, [Online] Available : <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/informatika/article/view/34166>
- [19] D. Piątkowski, , & K. Walkowiak, , "TinyML-based concept system used to analyze whether the face mask is worn properly in battery-operated conditions," *Applied Sciences (Switzerland)*, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12010484>
- [20] S. A. P. Pratama & D. H. Setiabudi, , "Sistem pemantauan pasien berbasis IoT menggunakan ESP8266 dan Arduino", *Jurnal Infra Petra*, 7, 2020. [Online] Available : <https://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-informatika/article/view/9820>
- [21] N. W. Sidabarib, R. Ainun, "Uji Variasi Suhu Pengeringan Biji Kakao Dengan Alat Pengering Tipe Kabinet Terhadap Mutu Bubuk Kakao", *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian* Vol. 5 No. 1, 2017. [Online] Available : <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/51571>
- [22] Vinola, F., & Rakhman, A., "Sistem monitoring dan controlling suhu ruangan berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(2), 117–126, 2020. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/view/29698>