

Pemantauan suhu dan pH serta pengadukan otomatis pada fermentasi biji kakao melalui aplikasi Blynk

Mutia Tsani Az Zahra^{1*}, Ferry Satria²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

^{1*}mutia.tsani.tkom419@polban.ac.id, ²ferry.satria@polban.ac.id

ABSTRAK

Biji kakao merupakan komoditas unggulan pada hasil perkebunan Indonesia. Dalam pengolahannya, fermentasi menjadi proses terpenting karena menentukan kualitas yang dihasilkan. Namun, fermentasi tersebut merupakan hal yang rumit karena petani harus memantau dan mengaduk biji kakao secara berkala selama empat sampai enam hari. Dengan perkembangan teknologi, telah banyak teknologi sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan serupa. Namun, pada teknologi-teknologi tersebut terdapat kekurangan seperti kurangnya parameter pada sistem, tidak terdapat fitur pemantauan jarak jauh, dan tidak terdapat fitur kendali. Maka, diusulkan perbaikan sistem yang mampu mendeteksi perubahan parameter nilai suhu dan pH pada tumpukan biji kakao selama proses fermentasi melalui aplikasi Blynk. Sistem memiliki fitur pengadukan biji kakao di dalam kotak kayu fermentasi yang terhubung dengan motor *stepper* NEMA 23. Aplikasi memberikan notifikasi peringatan kepada pengguna untuk memberhentikan fermentasi jika nilai pH melebihi 6. Turut terdapat notifikasi ketika motor *stepper* telah aktif memutar untuk pengadukan. Digunakan sensor suhu DS18B20 dan sensor pH SEN0169-V2 pada kotak fermentasi yang diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung dengan Modul WiFi ESP01. Akurasi sistem dalam mendeteksi nilai suhu sebesar 99,5% dan nilai pH sebesar 99,42%. Sistem mampu mengaduk biji kakao setiap pukul 12.00 dan ketika terdeteksi suhu di atas 48°C pada pemeriksaan setiap satu jam sekali. Sistem mampu mengirimkan notifikasi ke *mobile phone* pengguna.

Kata kunci: fermentasi, biji kakao, *motor stepper* NEMA 23, sensor DS18B20, sensor pH SEN0169-V2

ABSTRACT

Cocoa bean is a top commodity in Indonesia's plantation products. In its processing, fermentation is the most important process as it determines the quality of the beans. However, fermentation is complicated as farmers have to monitor and stir the beans regularly for four to six days. With technological development, numerous solutions have been developed to solve similar problems. However, these solutions have weaknesses such as lack of parameters in the system, no remote monitoring and control feature. Therefore, an improved system is proposed that can detect changes in temperature and pH value in a pile of cocoa beans during fermentation through the Blynk application. The system can stir cocoa beans in a wooden fermentation box connected to a NEMA 23 stepper motor. The application provides a warning notification to the user to stop fermentation if the pH value exceeds 6. There is also a notification when the stepper motor has actively rotated for stirring. DS18B20 temperature sensor and SEN0169-V2 pH sensor are used in the fermentation box which are processed by Arduino Uno Microcontroller connected to ESP01 WiFi Module. The system accuracy in detecting temperature value is 99.5% and pH value is 99.42%. The system is able to stir the cocoa beans every 12.00 and when the temperature is detected over 48°C in checking every one hour. The system is able to send notifications to the user's mobile phone.

Keywords: fermentation, cacao bean, stepper motor NEMA 23, sensor DS18B20, sensor pH SEN0169-V2

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang menjadi produsen kakao (*Theobroma cacao* L) terbesar ke-6 di dunia [1]. Namun, pada tahun 2018 sampai 2020, produksi biji kakao menurun yaitu dengan data produksi 767.280 ton pada tahun 2018, 734.796 ton pada tahun 2019, dan 813.378 ton pada tahun 2020 [1]. Penurunan produktivitas tersebut dapat berasal dari beberapa faktor, di antaranya karena petani menjual biji kakao yang tidak difermentasi, sedangkan biji kakao di pasar internasional yang sudah difermentasi memiliki nilai jual dan kualitas yang lebih tinggi [2]. Kualitas biji kakao yang

rendah turut disebabkan oleh kurangnya kemampuan petani dalam memanfaatkan teknologi dan memahami pengetahuan terkait fermentasi biji kakao [3]. Fermentasi biji kakao dengan menggunakan kotak kayu berdurasi mulai dari empat sampai enam hari dengan parameter yang harus diperhatikan saat fermentasi adalah nilai suhu dan pH pada biji kakao yang mengalami perubahan nilai secara fluktuatif [4]. Pengukuran suhu saat fermentasi dilakukan menggunakan thermometer sebanyak 3 kali sehari pada pukul 09.00, 12.00, dan 16.00 [5] Jika suhu melewati ambang batas dan tidak terdapat petani biji kakao yang bekerja, maka kualitas hasil fermentasi kakao mengalami penurunan akibat terlambatnya proses pengadukan [6]. Pengukuran pH terhadap biji kakao dilakukan dengan menggunakan pH meter digital yang diletakkan pada tumpukan biji kakao sampai pH meter menunjukkan nilai pH biji kakao [7]. Untuk mencapai kualitas biji kakao yang baik diperlukan pH yang mendekati netral atau bernilai 6 karena pH biji kakao yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan aroma [4].

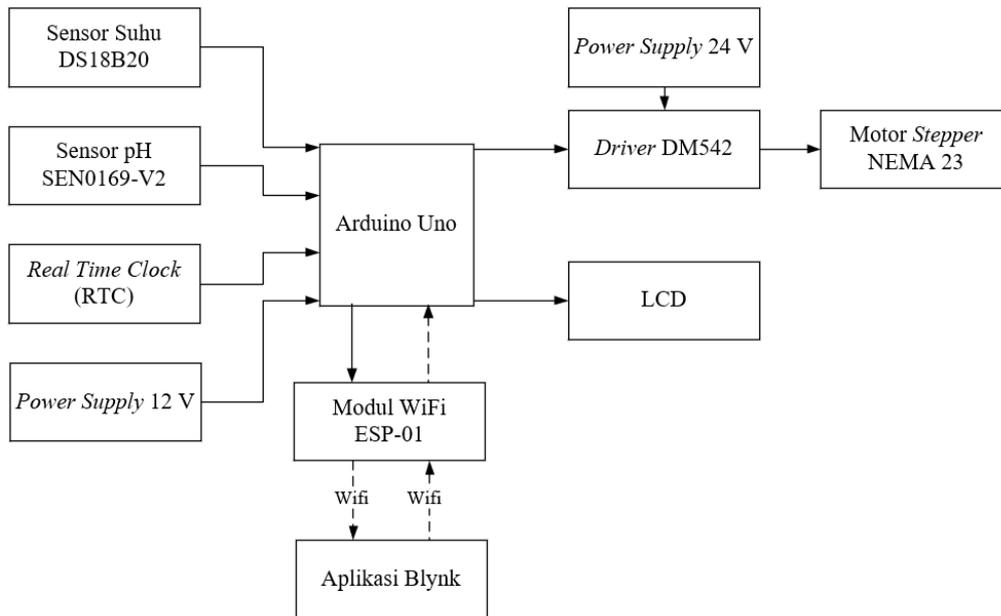
Dengan kemajuan teknologi, telah banyak penelitian sebagai solusi untuk permasalahan serupa. Penelitian [8] membuat pemantau suhu dan pH saat fermentasi biji kakao melalui LCD dan memutar kotak fermentasi menggunakan motor melalui tombol. Kemudian, penelitian [9] merancang pengaduk biji kakao secara otomatis berdasarkan suhu menggunakan sensor LM35. Selain itu, penelitian [10] membuat pemantauan fermentasi biji kakao dengan memberikan notifikasi kepada *mobile phone* pengguna ketika nilai suhu dan pH tumpukan biji di luar rentang yang ditentukan. Lalu, penelitian [11] membuat alat untuk mengetahui kadar air pada buah kakao berdasarkan sensor *soil moisture* melalui LCD dan LED. Kemudian, penelitian [12] merancang sistem pemantau proses pencucian biji kopi berdasarkan sensor suhu dan kelembapan serta sensor pH yang diakses melalui *website* Ubidots. Namun, teknologi-teknologi tersebut memiliki kekurangan seperti kurangnya parameter fermentasi yang digunakan pada sistem, tidak memiliki fitur pemantauan jarak jauh, sistem pemantau yang kurang efektif bagi pengguna, dan tidak memiliki fitur kendali otomatis.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantau suhu dan pH serta pengadukan otomatis pada fermentasi biji kakao menggunakan aplikasi Blynk. Peningkatan kinerja pada sistem yang dibuat dibandingkan dengan karya-karya sebelumnya adalah sistem mampu mendeteksi perubahan nilai parameter suhu dan pH tumpukan biji kakao selama proses fermentasi yang di mana jika terdeteksi nilai suhu melebihi batas yang ditentukan, maka terdapat sistem pengaduk biji kakao secara otomatis yang bekerja agar hasil fermentasi biji kakao yang dihasilkan berkualitas baik. Selain itu, pengaduk aktif secara otomatis setiap harinya pada pukul 12.00. Sistem terintegrasi dengan aplikasi Blynk yang menjadi media pemantau selama fermentasi berlangsung dan memberikan notifikasi peringatan bagi pengguna jika motor *stepper* telah aktif untuk melakukan pengadukan biji kakao di dalam kotak fermentasi saat fermentasi berlangsung dan jika terdeteksi nilai parameter pH melebihi batas ambang yang memperingatkan pengguna untuk memberhentikan proses fermentasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Sistem

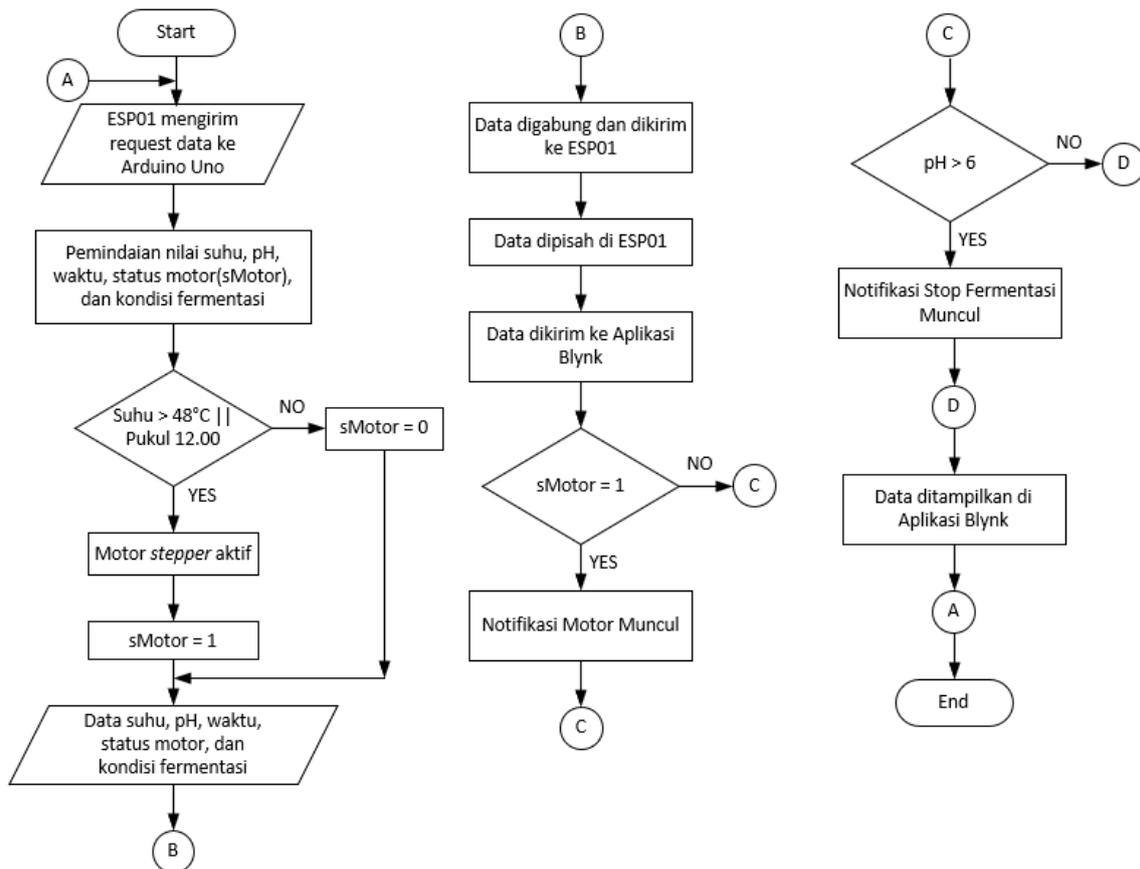
Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem pada alat. Dalam sistem fermentasi biji kakao yang dirancang, pada perangkat keras terdapat sensor suhu DS18B20 dan sensor pH SEN0169-V2 yang bersifat *waterproof* karena biji akan mengeluarkan cairan, *driver* DM542, *motor stepper* NEMA 23, LCD, dan modul *Real Time Clock* (RTC) yang diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno yang terhubung dengan modul WiFi ESP01 sebagai pengolah dan pengirim data ke aplikasi Blynk. Modul RTC digunakan untuk mengatur waktu aktivasi *motor stepper* dan melakukan pemeriksaan suhu setiap satu jam sekali. *Motor stepper* berfungsi sebagai penggerak *gear* yang turut terpasang pada kotak kayu untuk fermentasi biji kakao sehingga dapat memutar kotak ketika suhu tumpukan biji di atas 48°C untuk mengaduk biji kakao. Selain itu, *motor stepper* aktif setiap 24 jam sekali pada pukul 12.00. Sistem menggunakan aplikasi Blynk untuk memantau fermentasi biji kakao melalui *mobile phone*. Aplikasi menampilkan data yang diperoleh dari perangkat keras selama proses fermentasi. Selain itu, aplikasi memberikan notifikasi kepada *user* untuk memberhentikan fermentasi jika terdeteksi pH di atas 6 serta memberikan notifikasi untuk memberitahukan ketika *motor stepper* telah aktif mengaduk.



Gambar 1. Blok diagram perangkat keras sistem

2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 2 yang dimulai dari modul WiFi ESP01 yang mengirimkan *request* data ke Arduino Uno. Setelah Arduino Uno menerima *request*, maka dilakukan pemindaian nilai suhu oleh sensor suhu DS18B20, nilai pH oleh sensor pH SEN0169-V2, pembacaan waktu oleh RTC, status motor, dan kondisi fermentasi.



Gambar 2. Flowchart sistem pemantau suhu dan pH serta pengadukan otomatis

Jika terdeteksi suhu di atas 48°C saat pemeriksaan setiap satu jam sekali atau terbaca pukul 12.00 oleh RTC, maka *motor stepper* aktif berputar dan sMotor (status motor) bernilai 1. Sedangkan jika tidak, sMotor bernilai 0 yang berarti motor dalam kondisi diam. Kemudian, nilai-nilai yang terbaca tersebut dikirimkan dalam satu waktu menggunakan metode *parsing data* ke ESP01. Setelah ESP01 menerima data, data tersebut dipisahkan untuk ditampilkan pada setiap *widget* di aplikasi Blynk. Jika aplikasi Blynk mendeteksi sMotor bernilai 1, maka *mobile phone* pengguna menerima notifikasi bahwa *motor stepper* telah aktif. Kemudian, jika terdeteksi nilai pH di atas 6, maka *mobile phone* pengguna menerima notifikasi bahwa proses fermentasi biji kakao harus diberhentikan. Setelah itu, data suhu, pH, status motor, dan kondisi fermentasi ditampilkan di aplikasi Blynk sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan terhadap proses fermentasi biji kakao yang sedang berlangsung.

2.3 Realisasi Perangkat Keras

Realisasi perakitan dilakukan pada *hardware* dan mekanik pada alat ditunjukkan pada Gambar 3. Di dalam kotak komponen, terdapat Arduino Uno, Modul WiFi ESP01, RTC, LCD, *push button*, sensor suhu DS18B20, sensor pH pro V2, sensor suhu DS18B20, dan *voltage regulator* LM1117 sebagai penurun *input* tegangan dari Arduino Uno ke ESP01.



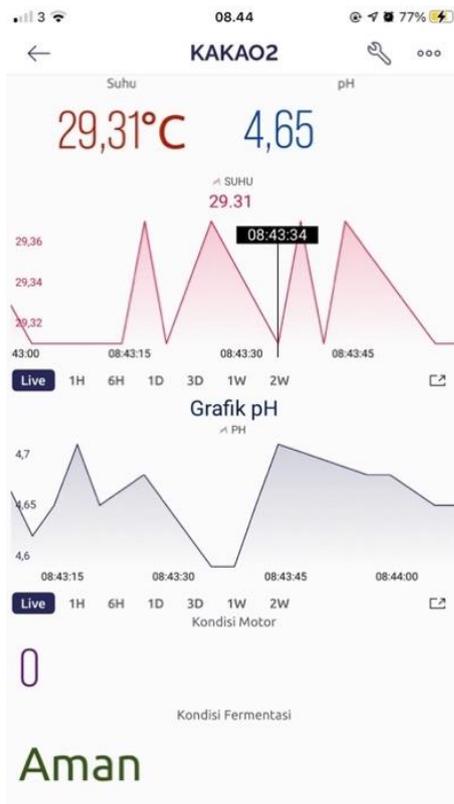
Gambar 3. Realisasi sistem keseluruhan berupa elektrikal (kiri) dan mekanik (kanan)

Kotak fermentasi berbahan kayu jati berukuran 25 x 25 x 30 cm yang memiliki alas berukuran 26 x 50 cm. Sisi-sisi kotak dilubangi sebagai saluran udara dan cairan *pulp*. Di dalam kotak, terdapat sensor pH SEN0169-V2 yang dipasang secara vertikal di sudut kiri dan sensor suhu DS18B20 yang dipasang di tengah pada dasar. Di samping kiri terdapat kotak komponen berukuran 18,5 x 11,5 x 6,5 cm untuk tempat pemasangan LCD dan seluruh komponen lainnya. Kemudian, di samping kanan alat terdapat motor *stepper* yang di bawahnya disimpan *driver* DM542 dan *power supply* 24 Volt 10 Ampere. Motor *stepper* terhubung dengan kotak fermentasi menggunakan rantai yang terpasang dengan *gear* pada motor *stepper* dan kotak fermentasi.

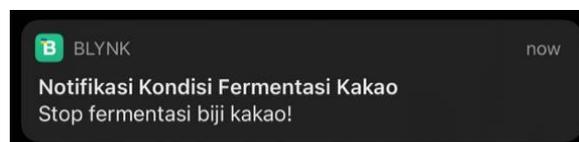
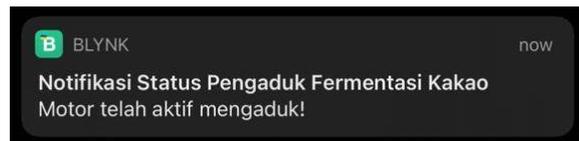
2.4 Realisasi Aplikasi

Pemantauan proses fermentasi biji kakao dilakukan melalui aplikasi Blynk pada *mobile phone* yang ditampilkan oleh *widgets* dalam bentuk nilai angka, grafik, dan kata yang ditunjukkan pada Gambar 4(a). Nilai suhu dan nilai pH ditampilkan dalam bentuk angka dan grafik. Pada grafik tersebut terdapat opsi untuk memilih rentang waktu yang ingin ditampilkan oleh pengguna. Untuk opsi *live*, grafik menampilkan data suhu dan pH secara *real-time*. Kemudian, untuk opsi 1h (1 jam), 6h (6 jam), dan 1d (1 hari), grafik menampilkan nilai rata-rata yang diterima dalam 1 menit, sedangkan untuk opsi 3d (3 hari), 1w (1 minggu), dan 2w (2 minggu), grafik menampilkan nilai rata-rata yang diterima dalam 1 jam. Lalu, terdapat tampilan “Kondisi Motor” yang bernilai 0 jika motor *stepper* sedang diam dan bernilai 1 jika motor *stepper* telah aktif mengaduk. Jika “Kondisi Motor” bernilai 1, maka notifikasi motor yang ditunjukkan Gambar 4(b) muncul yang memberitahukan pengguna melalui *mobile phone* bahwa motor *stepper* telah aktif mengaduk. Selanjutnya, terdapat tampilan “Kondisi Fermentasi” yang terisi kata “Aman” apabila nilai pH di bawah 6 dan terisi kata “Stop” apabila nilai

pH di atas 6. Jika nilai pH lebih dari 6, maka notifikasi pH muncul untuk memberitahukan pengguna bahwa proses fermentasi biji kakao harus diakhiri yang ditunjukkan Gambar 4(b).



(a)



(b)

Gambar 4. Realisasi aplikasi: (a) tampilan *widget*, (b) notifikasi status pengaduk dan kondisi fermentasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor

Hasil pengujian terhadap sensor suhu DS18B20 disajikan pada Tabel 1 yang dilakukan dengan mengukur suhu air pada variasi 20 suhu yang berbeda. Berdasarkan 20 pengujian tersebut, didapatkan hasil rata-rata akurasi pembacaan suhu oleh sensor DS18B20 terhadap thermometer digital konvensional sebesar 99,55%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor DS18B20 yang digunakan pada alat memiliki akurasi yang baik dalam mengukur suhu dengan variasi suhu yang rendah hingga sedang yaitu berkisar antara 9,8°C sampai dengan 60,1°C. Maka dari itu, sensor suhu DS18B20 yang digunakan pada alat dapat diandalkan dalam mengukur suhu dengan akurasi yang tinggi.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sensor pH SEN0169-V2 yang dibandingkan terhadap pH meter digital. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 7 jenis larutan berbeda yang bersifat netral, asam, dan basa. Pengujian tersebut menghasilkan nilai rata-rata akurasi pembacaan pH oleh sensor pH SEN0169-V2 sebesar 99,42%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor pH SEN0169-V2 yang digunakan pada alat memiliki akurasi yang tinggi untuk membaca nilai pH yang bersifat netral, asam, dan basa.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor suhu DS18B20

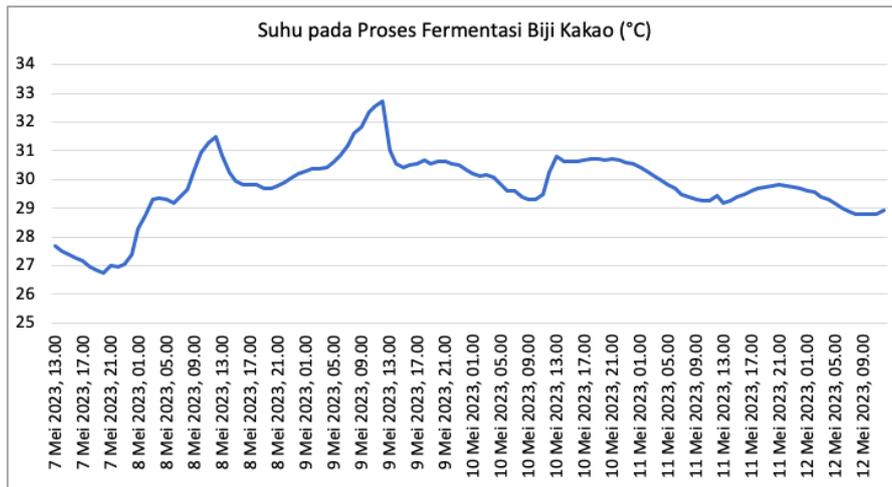
No.	Data acuan (Thermometer digital)	Hasil pengujian (sensor DS18B20)	Akurasi
	Suhu (°C)	Suhu (°C)	
1	9,8	9,8	100%
2	12,6	12,6	100%
3	16,6	16,2	97,59%
4	19,1	19,1	100%
5	22,8	22,6	99,12%
6	24,6	24,6	100%
7	26,5	26,4	99,62%
8	29,3	29,1	99,31%
9	31,2	31,1	99,67%
10	34,1	34,1	100%
11	35,8	35,6	99,44%
12	39,9	39,7	99,49%
13	42,8	42,6	99,53%
14	45,8	45,6	99,56%
15	49,9	50,1	99,6%
16	52,5	52,6	99,8%
17	54,6	54,4	99,63%
18	57,8	57,6	99,65%
19	59,5	59,3	99,66%
20	60,4	60,1	99,5%
Rata-rata Akurasi Pembacaan Suhu =			99,55%

Tabel 2. Hasil pengujian sensor pH SEN0169-V2

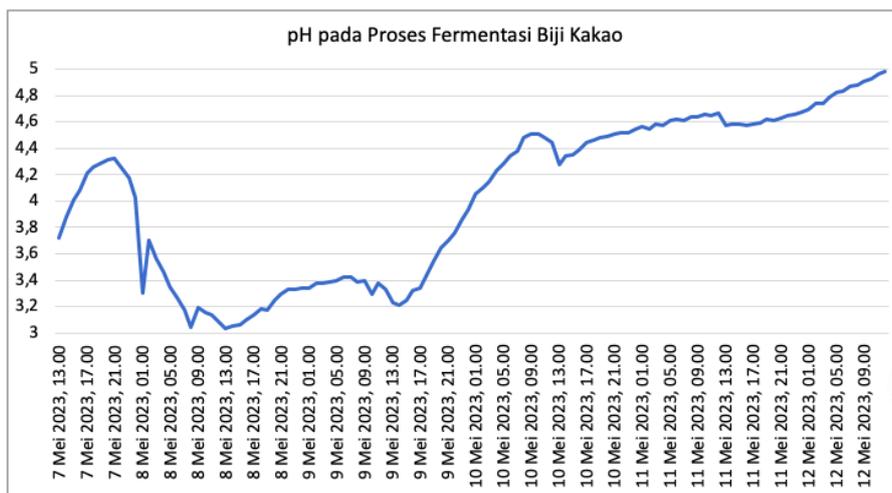
No.	Jenis larutan	Data acuan (pH Meter digital)	Hasil pengujian (Sensor pH SEN0169-V2)	Akurasi
		pH	pH	
1.	Buffer Solution 4,01	4,01	3,95	98,5%
2.	Buffer Solution 6,86	6,86	6,91	99,27%
3.	Buffer Solution 9,18	9,46	9,52	99,36%
4.	Air Demineralisasi	6,62	6,61	99,84%
5.	Air Mineral	7,56	7,59	99,6%
6.	Air Keran	6,62	6,61	99,84%
7.	Air Sabun	6,7	6,73	98,55%
Rata-rata akurasi pembacaan pH =				99,42%

3.2 Pengujian Sistem Fermentasi Keseluruhan

Data hasil pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui nilai suhu dan pH tumpukan biji kakao, aktivasi motor *stepper*, serta kemunculan notifikasi selama 5 hari dari tanggal 7 Mei 2023 pukul 12.00 sampai dengan 12 Mei 2023 pukul 12.00. Pengambilan data dimulai dari pukul 13.00 pada 7 Mei 2023 yang merupakan satu jam setelah biji kakao dimasukkan ke dalam kotak fermentasi. Hal ini dilakukan agar nilai suhu dan pH yang terdeteksi sudah stabil. Data suhu dan pH pada Aplikasi Blynk selama masa fermentasi diplotkan menjadi grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5 untuk memvisualisasikan perubahan nilai suhu dan pH selama periode 5 hari fermentasi.

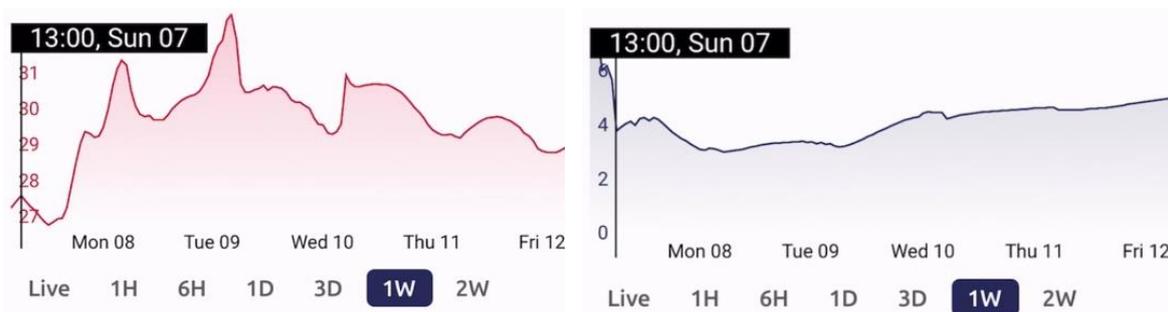


(a)



(b)

Gambar 5. Grafik Data Selama Fermentasi: (a) grafik suhu, (b) grafik pH



(a)

(b)

Gambar 6. Grafik data aplikasi Blynk selama fermentasi: (a) grafik suhu, (b) grafik pH

Gambar 6 menampilkan grafik nilai suhu dan pH pada Aplikasi Blynk di *mobile phone*. Grafik tersebut menampilkan data pada opsi rentang waktu 1 minggu (1w) untuk proses fermentasi yang dilakukan selama 5 hari. Berdasarkan data yang didapatkan dari Aplikasi Blynk, suhu pada awal fermentasi di tanggal 7 Mei 2023 pukul 13.00 adalah sebesar 27,68°C yang terus mengalami penurunan sampai mulai terjadi peningkatan suhu pada pukul 21.00 sampai dengan pukul 12.00 di tanggal 8 Mei 2023 yang merupakan hari ke-dua fermentasi yang mencapai suhu 31,5°C. Setiap pukul 12.00, modul *Real Time Clock* (RTC) mengatur *motor stepper* untuk aktif mengaduk biji kakao. Maka,

pada pukul 12.00 di tanggal 8 Mei 2023, *motor stepper* aktif mengaduk biji kakao dan *mobile phone* menerima notifikasi (Notifikasi Motor) bahwa *motor stepper* telah aktif mengaduk. Setelah pengadukan, suhu saat fermentasi mengalami penurunan hingga mencapai 29,69°C pada pukul 19.00. Kemudian, suhu kembali meningkat sampai pukul 12.00 di tanggal 9 Mei 2023 yang merupakan hari ke-tiga fermentasi yang mencapai 32,71°C. Pada pukul 12.00, *motor stepper* kembali aktif mengaduk biji kakao dan *mobile phone* menerima notifikasi. Setelah itu, suhu kembali mengalami penurunan sampai dengan pukul 10.00 di tanggal 10 Mei 2023 yang merupakan hari ke-empat fermentasi hingga mencapai 29,32°C dan mengalami kenaikan kembali sampai pukul 12.00 pada suhu 30,25°C. *Motor stepper* kembali aktif mengaduk biji kakao pada pukul 12.00 dan sistem turut mengirimkan notifikasi ke *mobile phone*. Setelah pengadukan, nilai suhu cenderung stabil sampai dengan pukul 22.00 hingga akhirnya mengalami penurunan sampai dengan pukul 11.00 pada tanggal 11 Mei 2023 yang merupakan hari ke-lima fermentasi yang mencapai 29,27°C. Pada pukul 12.00, *motor stepper* kembali mengaduk biji kakao dan *mobile phone* menerima notifikasi. Setelah pengadukan, suhu mengalami sedikit penurunan yaitu 29,16°C pada pukul 13.00 yang kemudian kembali meningkat sampai dengan pukul 21.00 pada suhu 29,8°C. Setelah itu, suhu cenderung menurun sampai dengan pukul 12.00 di tanggal 12 Mei 2023 yang merupakan akhir dari masa fermentasi biji kakao. Lalu, pada alat diatur agar ketika nilai suhu tumpukan biji kakao terdeteksi di atas 48°C pada pemeriksaan setiap satu jam sekali oleh modul RTC, maka *motor stepper* aktif mengaduk. Namun, karena nilai suhu tumpukan biji kakao saat pengujian tidak mencapai 48°C, maka dilakukan pengujian tambahan. Berdasarkan pengujian tambahan tersebut, diketahui bahwa *motor stepper* aktif mengaduk biji kakao ketika terdeteksi suhu di atas 48°C yaitu 49,3 pada pukul 21.00 dan 50,46 pada pukul 22.00 oleh sensor suhu DS18B20 pada pemeriksaan setiap satu jam sekali oleh modul RTC. Selain itu, *mobile phone* menerima notifikasi bahwa telah dilakukan pengadukan. Berdasarkan analisis yang berkaitan dengan nilai suhu dan *motor stepper* pada masa uji coba tersebut, diketahui bahwa suhu pada fermentasi biji kakao bersifat fluktuatif. Suhu saat fermentasi cenderung meningkat sampai *motor stepper* mengaduk. Setelah pengadukan, suhu kembali menurun dan kemudian mengalami kenaikan kembali sampai dengan pengadukan berikutnya. Hal ini menunjukkan pengadukan pada alat sudah bekerja dengan baik karena berfungsi menurunkan suhu saat fermentasi agar biji kakao terhindar dari pemasakan.

Kemudian, pada awal fermentasi di tanggal 7 Mei pukul 13.00, nilai pH adalah 3,72 yang kemudian meningkat hingga pukul 21.00 dan mengalami fluktuasi yang cenderung menurun hingga pukul 12.00 di tanggal 8 Mei 2023 yang merupakan hari ke-dua fermentasi dengan nilai pH 3,08. Setelah pengadukan pada pukul 12.00, nilai pH kembali meningkat hingga mencapai nilai pH 3,4 pada pukul 09.00 di tanggal 9 Mei 2023 yang merupakan hari ke-tiga fermentasi dan mengalami sedikit penurunan menjadi 3,33 pada pukul 12.00. Setelah pengadukan pada pukul 12.00, nilai pH saat fermentasi kembali meningkat sampai dengan pukul 12.00 di tanggal 10 Mei 2023 yang merupakan hari ke-empat fermentasi yang mencapai 4,44. Kemudian, setelah pengadukan pada pukul 12.00, nilai pH sedikit menurun yang kemudian terus meningkat sampai dengan pukul 12.00 di tanggal 11 Mei 2023 yang merupakan hari ke-lima fermentasi dengan nilai 4,67. Setelah pengadukan pada hari terakhir fermentasi, nilai pH sedikit menurun dan kemudian kembali terus meningkat hingga mencapai 5 pada pukul 12.00 di tanggal 12 Mei 2023. Pada alat, diatur untuk muncul notifikasi (Notifikasi pH) melalui *mobile phone* agar pengguna memberhentikan proses fermentasi ketika nilai pH tumpukan biji kakao melebihi 6. Namun, karena nilai akhir pH pada proses uji coba adalah 5, maka dilakukan pengujian tambahan untuk mengetahui keaktifan notifikasi tersebut. Berdasarkan uji coba tambahan tersebut, diketahui bahwa *mobile phone* menerima notifikasi yang memberitahukan pengguna untuk memberhentikan proses fermentasi ketika terdeteksi nilai pH di atas 6 yaitu 6,89 dan 6,08. Pada fermentasi biji kakao, pengadukan memiliki tujuan biji kakao mendapatkan kesempatan yang sama untuk mendapatkan aerasi yang mengakibatkan peningkatan nilai pH luar biji kakao [4], [13]. Berdasarkan analisis nilai pH yang dihasilkan dari fermentasi biji kakao pada uji coba alat, diketahui bahwa setelah pengadukan pada setiap hari nya, nilai pH tumpukan biji terus mengalami peningkatan karena terjadinya aerasi dari pengadukan sehingga menghasilkan nilai akhir pH sebesar 5. Hal tersebut menandakan bahwa pengadukan pada alat telah berfungsi dengan baik untuk melakukan aerasi sehingga dapat meningkatkan nilai pH tumpukan biji kakao.

Berdasarkan referensi [4], suhu tumpukan biji kakao optimum pada 44 – 48°C setelah 48 jam fermentasi, sedangkan suhu optimum yang dicapai saat pengujian fermentasi yang telah dilakukan adalah 32,71°C yaitu pada tanggal 9 Mei 2023 pukul 12.00 yang merupakan 48 jam setelah

fermentasi. Suhu yang tidak mencapai nilai optimum dapat disebabkan oleh tumpukan biji kakao yang kurang tebal karena semakin tebal tumpukan maka semakin tinggi daya isolasinya sehingga panas dalam tumpukan lebih sulit terlepas yang menyebabkan suhu lebih panas [14]. Kemudian, pengolahan biji kakao menghendaki pH luar biji kakao pada akhir fermentasi bernilai 6 atau mendekati netral karena pH biji kakao yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan aroma [4], [15]. Pada pengujian fermentasi yang dilakukan, pH luar biji kakao bernilai 5 pada akhir fermentasi yaitu pada tanggal 12 Mei 2023 pukul 12.00. Panas pada tumpukan biji kakao mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme yang mengakibatkan peningkatan pH luar biji kakao [4], [13]. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa suhu yang rendah turut dapat mempengaruhi nilai pH luar yang tidak mencapai nilai optimum.

Biji kakao yang dilakukan fermentasi selama 5 hari dari tanggal 7 Mei 2023 sampai dengan 12 Mei 2023, diuji kualitas nya dengan memperhatikan beberapa hal. Biji kakao diambil beberapa untuk dijadikan contoh pengujian. Biji kakao dibelah secara memanjang kemudian dilihat kondisinya.



Gambar 7. Bagian Dalam Biji Kakao: (a) sebelum fermentasi, (b) setelah fermentasi

Gambar 7 menunjukkan bagian dalam biji kakao sebelum dan sesudah fermentasi selama masa uji coba. Hasil fermentasi biji kakao yang baik adalah biji yang bagian dalamnya berwarna ungu tua namun bagian lapisannya berwarna coklat, ketika biji ditekan tidak mengeluarkan cairan ungu, dan warna *pulp* berubah menjadi kecoklatan [5], [9]. Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa biji kakao bagian dalam yang dihasilkan berwarna ungu tua dengan warna *pulp* yang kecoklatan. Kemudian, ketika biji tersebut ditekan oleh penulis, biji tidak mengeluarkan cairan ungu. Selain itu, fermentasi yang baik tidak menghasilkan biji yang berjamur dan berkecambah [6]. Pada biji kakao yang dihasilkan dari uji coba fermentasi pada alat yang dibuat, biji yang dihasilkan tidak berjamur dan tidak berkecambah. Maka dari itu, dapat diketahui bahwa fermentasi yang dilakukan dengan menggunakan alat yang dibuat sudah dapat menghasilkan biji kakao yang terfermentasi dengan baik.

4. KESIMPULAN

Sistem pemantau suhu dan pH serta pengaduk otomatis pada fermentasi biji kakao telah berhasil dirancang dan direalisasikan. Sensor DS18B20 menunjukkan akurasi pembacaan suhu sebesar 99,5% dan sensor pH SEN0169-V2 menunjukkan akurasi pembacaan pH sebesar 99,42%. Sistem pengadukan biji kakao aktif melalui *motor stepper* setiap pukul 12.00 dan jika terdeteksi suhu tumpukan biji kakao di atas 48°C berdasarkan pembacaan waktu oleh RTC. *Mobile phone* pengguna berhasil menerima notifikasi ketika motor *stepper* aktif dan ketika terdeteksi nilai pH tumpukan biji di atas 6. Biji kakao yang dihasilkan dari fermentasi pada alat menunjukkan kualitas biji yang terfermentasi dengan baik yaitu biji bagian dalam berwarna ungu tua, ketika biji ditekan tidak mengeluarkan cairan ungu, warna *pulp* berubah menjadi kecoklatan, serta biji tidak berkecambah dan berjamur. Untuk meningkatkan kualitas biji kakao, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur untuk meningkatkan nilai suhu tumpukan biji selama fermentasi. Selain itu, saat melakukan fermentasi, tumpukan biji kakao disarankan untuk dibuat lebih tebal agar daya isolasinya lebih tinggi sehingga tumpukan biji kakao dapat mencapai nilai suhu dan pH optimum. Kemudian, jenis motor untuk sistem pengadukan pada alat dapat diganti menggunakan jenis motor lain seperti motor DC sehingga dapat mengurangi biaya produksi.

REFERENSI

- [1] BPS, Statistik Kakao Indonesia 2021, Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2021.
- [2] S. Amin, *Teknologi Pascapanen Kakao Untuk Masyarakat Perkakaoan Indonesia*, Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2005.
- [3] R. Manalu, "Radot Manalu, Pengolahan Biji Kakao Produksi Perkebunan Rakyat untuk Meningkatkan Pendapatan Petani," *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*, vol. 9, no. 2, pp. 99-111, 2018.
- [4] N. L. P. N. A. Aryani, N. L. Yulianti, and G. Arda, "Karakteristik Biji Kakao Hasil Fermentasi Kapasitas Kecil dengan Jenis Wadah dan Lama Fermentasi yang Berbeda," *JURNAL BETA (BIOSISTEM DAN TEKNIK PERTANIAN)*, vol. 6, no. 1, pp. 17-24, 2018.
- [5] EQSI, "Tahapan Melakukan Fermentasi Biji Kakao," EQSI Project Channel, 19 September 2017. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=VKU9DAYK8tA>. [Accessed 5 March 2023].
- [6] N. S. S. M. Khouw, S. M. H. M. Asis, and S. G. Zain, "Rancangan Teknologi Alat Fermentasi Kakao," *Jurnal Media TIK*, vol. 2, no. 2, pp. 1-4, 2019.
- [7] H. A. Sigalingging, "Perubahan Fisik dan Kimia Kakao Selama Fermentasi," *Jurnal Industri Pertanian (JUSTIN)*, vol. 2, no. 2, pp. 158-165, 2020.
- [8] J. J. L. Rivera and R. D. Valvidia, "Design of Automatic Cocoa Fermenter Based on a Traditional Process," in *FabLab Tescup*, Lima, 2018.
- [9] B. D. N. Ilham, R. A. Candra, and F. Anugreni, "Designing an Arduino-based Automatic Cocoa Fermentation Tool," *Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 5, no. 1, pp. 91-99, 2020.
- [10] F. A. Putri, "Perancangan dan Realisasi Sistem Pemantauan Fermentasi Biji Kakao Berbasis Internet of Things," *Tugas Akhir Politeknik Negeri Bandung*, Bandung, 2022.
- [11] B. Diwangkara and C. Bella, "Rancang Bangun Uji Volume Air pada Buah Coklat Kering Menggunakan Arduino," *Jurnal Portal Data*, vol. 2, no. 2, pp. 1-14, 2022.
- [12] J. Rutayisire, S. Markon and N. Raymond, "IoT Based Coffee Quality Monitoring and Processing System in Rwanda," in *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Applied System Innovation*, Sapporo, 2017.
- [13] C. R. Abriani, A. Noor and S. Dali, "DIGILIB UNHAS," April 2018. [Online]. Available: http://digilib.unhas.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/ZDU5OWU4ZGFhYTFIOGU2YTY5M2I3ZDM0YzJmM2JkYTc4NDkxNjIxYQ==.pdf. [Accessed 13 May 2023].
- [14] F. X. Susanto, *Tanaman Kakao Budidaya dan Pengolahan Hasil*, Yogyakarta: Karnisius, 2002.
- [15] S. Sabahannur and N. Nirwana, "Kajian Pengaruh Berat Biji Kakao Perkotak dan Waktu Pengadukan Terhadap Keberhasilan Proses Fermentasi," *Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, vol. 8, no. 2, pp. 18-30, 2017.