The 6th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)

Website Ciastech 2023 : https://ciastech.net
Open Confrence Systems : https://ocs.ciastech.net
Proceeding homepage : https://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/issue/view/236

P-ISSN : 2622-1276
E-ISSN: 2622-1284

INKUBATOR FERMENTASI TEMPE DENGAN DETEKSI KEMATANGAN BERBASIS SENSOR WARNA PADA PERAJIN KRIPIK TEMPE

Istiadi[1*)], Aviv Yuniar Rahman[2)], Sabar Setiawidayat[3)], Alvin Putra Pratama[4)] , Ali Tiflen[5)]

[1), 2)] Program Studi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang
[3), 4), 5)] Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang

INFORMASI ARTIKEL

Data Artikel :

Naskah masuk, 29 November 2023
Direvisi, 2 Desember 2023
Diterima, 4 Desember 2023

Email Korespondensi :
istiadi@widyagama.ac.id

ABSTRAK

Kendala produksi tempe untuk pembuatan kripik tempe diantaranya pada proses fermentasinya. Proses tersebut tempe secara sederhana dengan memanfaatkan lingkungan yang terbuka sehingga hasilnya tidak menentu tergantuang cuaca. Inovasi yang diusulkan yaitu pengembangan inkubator ferementasi tempe yang merupakan suatu ruang khusus dengan pengendalian temperatur dan kelembaban untuk proses pembiakan kapang *Rizhopus sp* terhadap kedelai sehingga membentuk hasil fermentasi tempe yang matang dan siap diolah. Teknologi utama pada inkubator ini adalah sistem kendali digital berbasis mikrokontroler yang terhubung pada sensor-sensor (temperatur, kelembaban, warna) dan aktuator-aktuator (elemen pemanas, kipas, *humidifier*). Inkubator yang dikembangkan mampu mengendalikan temperatur pada 35^{o}C dan kelembaban 60%-70% RH, dan Sensor warna untuk mendeteksi kematangan berdasarkan ambang nilai *Red, Green, Blue* (RGB). Berdasarkan pengujian fermentasi tempe diperolah waktu kematangan fermentasinya kurang dari satu hari (sekitar 20 jam). Dengan adanya *Prototipe* ini, diharapkan dapat memberikan kepastian penyediaan bahan tempe dengan waktu yang lebih efektif untuk diolah lebih lanjut.

Kata Kunci : *Tempe, Fermentasi, inkubator, temperatur, kelembaban, sensor warna*

1. PENDAHULUAN

Tempe adalah salah satu bahan makanan yang popular yang berbahan dasar kedelai. Hal ini hampir tiap hari ditemui makanan tempe dijadikan salah satu lauk atau masakan keuarga. Bahkan olahan tempe dijadikan kudapan dan oleh-oleh wisata. Olahan tersebut seperti ditemui di Kota

Malang yang berbentuk kripik tempe sebagai salah satu produk unggulan. Sentra produksi kripik tempe di Kota Malang yang terkenal ada di wilayah Sanan Kelurahan Purwantoro. Pada wilayah itu, sebagian besar masyarakatnya memproduksi kripik tempe untuk oleh-oleh wisata atau pesanan.

Masyarakat Sanan, umumnya memproduksi sendiri tempe sebagai bahan utama membuat kripik tempe. Namun, kendala produksi tempe tersebut adalah waktu kematangan feremenasi tempe yang relatif panjang dan kadang tidak menentu yaitu sekitar 2 sampai dengan 3 hari. Hal ini terjadi karena proses fermentasi tempe masih menggunakan lingkungan terbuka yang dipengaruhi temperatur dan kelembaban udara yang fluktuatif. Kondisi cuaca Kota Malang selama tahun 2022 diketahui rerata temperatur udara berkisar 24,4°C – 25,4 °C, sedangkan temperatur tertinggi mencapai 31,4°C dan temperatur terendah mencapai 14,6°C [1]. Sementara itu rerata kelembaban udara berkisar 74,1% – 84,2%, dengan kelembaban udara tertinggi mencapai 99% dan kelembaban udara terendah mencapai 34% [2]. Kondisi yang kurang ideal ini menjadi salah satu kendala dalam produksi tempe di wilayah tersebut.

Pada kasus di wilayah Malang, proses ferementasi tempe secara tradisional dilakukan pada udara terbuka (diangin-anginkan), sehingga kondisi mencapai kematangan (kondisi kompak) menjadi tidak menentu yaitu membutuhkan waktu antar dua sampai tiga hari. Produksi tempe umumnya memanfaatkan kapang Rhizopus sp. Pertumbuhan kapang tersebut akan berkembang dengan baik pada temperatur 28-35˚C dengan kelembaban berkisar 65-70% [3]. Dengan kondisi ideal tersebut proses fermentasi tempe akan mampu mencapai kematangan sekitar satu hari [3]. Dengan demikian dukungan teknologi untuk proses fermentasi tersebut diperlukan untuk mengefektifkan produksi tempe yang siap untuk diolah lebih lanjut. Hal ini diharapkan mampu mengoptimalkan waktu produksi tempe maupun olahannya seperti keripik tempe sehingga kapasitas produksi perajin atau industri kripik tempe akan meningkat.

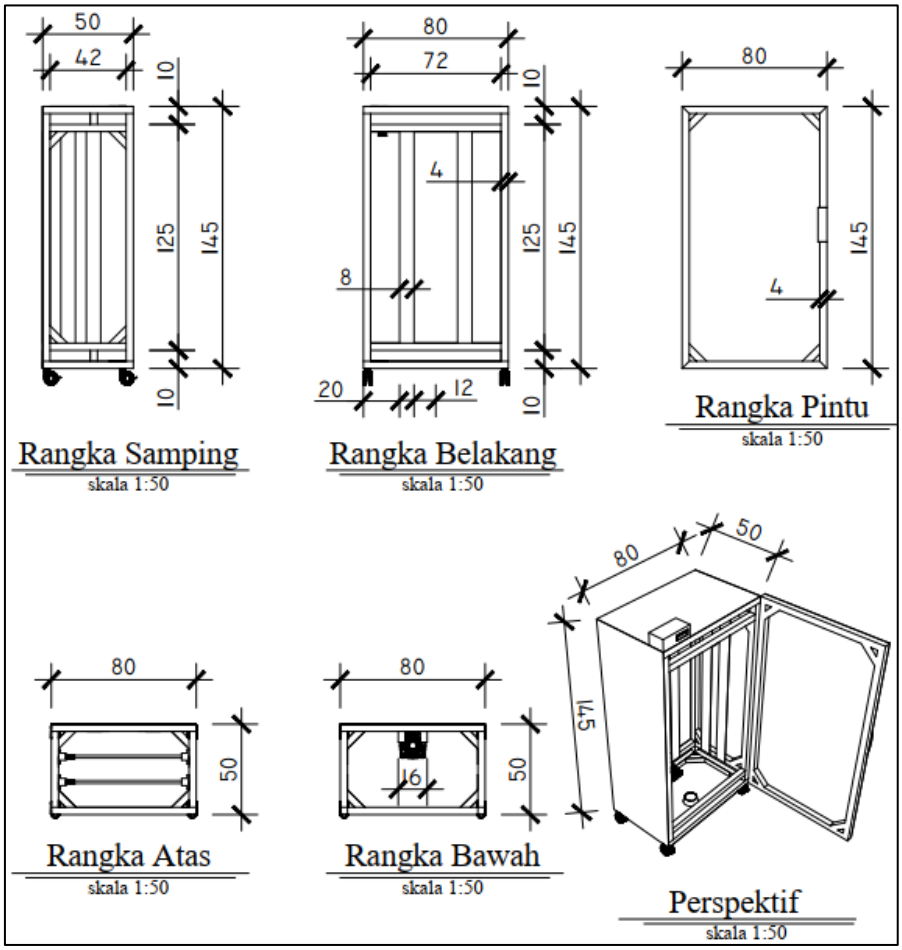
Upaya mengatasi proses fermentasi tempe tersebut telah dilakukan sejumlah penelitian terutama untuk mengendalikan temperatur dan kelembaban udara dalam suatu ruang inkubator. Pada penelitian [3] dan [4], mengembangkan inkubator dengan temperatur ruang yang dikondisikan dengan rentang 30-35 ˚C serta kelembaban 60-75%. Namun upaya ini masih menyisakan perhatian penggunanya untuk memantau langsung kematangan fermentasi dalam inkubator maupun memperikarakan rentang waktu kematangannya. Studi lainnya telah mengembangkan inkubator dengan monitoring temperatur dan kelembaban pada inkubator dengan pemantau jarak jauh seperti melalui SMS [5], melalui aplikasi android [6] dan IoT [7][8] yang membantu mengurangi perhatian langsung pada inkubator. Secara keseluruhan penelitian terkait inkubator tersebut mampu menghasilkan kematangan fermentasi tempe kurang dari satu hari, tetapi lebih mengutamakan perkiraan waktu dalam proses fermentasi tempe, sementara itu faktor komposisi bahan pembuatan tempe potensial mempengaruhi waktu kematangan fermentasi tempe.

Deteksi kematangan fermentasi tempe telah dilakukan dengan pendekatan pengolahan citra berbasis *machine learning* [9][10]. Penelitian-penelitian tersebut mampu menghasilkan tingkat akurasi yang baik (diatas 80%), namun yang menjadi kendala adalah diperlukannya perangkat komputasi yang cukup handal. Perangkat komputasi tersebut memerlukan sistem pemrosesan (CPU) yang cepat dan memori yang memadahi sehingga konsekuensinya diperlukan biaya yang mahal. Dengan demikian diperlukan pendekatan alternatif yang lebih feasible dari sisi biaya namun mampu mendeteksi kematangan tempe dengan baik. Hal ini memungkinkan dengan memanfaatkan sensor warna yang telah dimanfaatkan untuk mendeteksi kematangan buah [11][12][13]. Potensi penggunaan sensor warna dapat digunakan karena kondisi bahan tempe yang masih belum matang

(kompak) cenderung kekuningan (warna kedelai yag telah dikupas) sedangkan bahan tempe yang mulai kompak akan cenderung berwarna putih karena telah terbentuknya serat-serat kapang. Oleh karena itu, studi ini mengembangkan inkubator fermentasi tempe untuk pengendalian temperatur dan kelembaban yang dilengkapi dengan sensor warna untuk mendeteksi kematangan tempe.

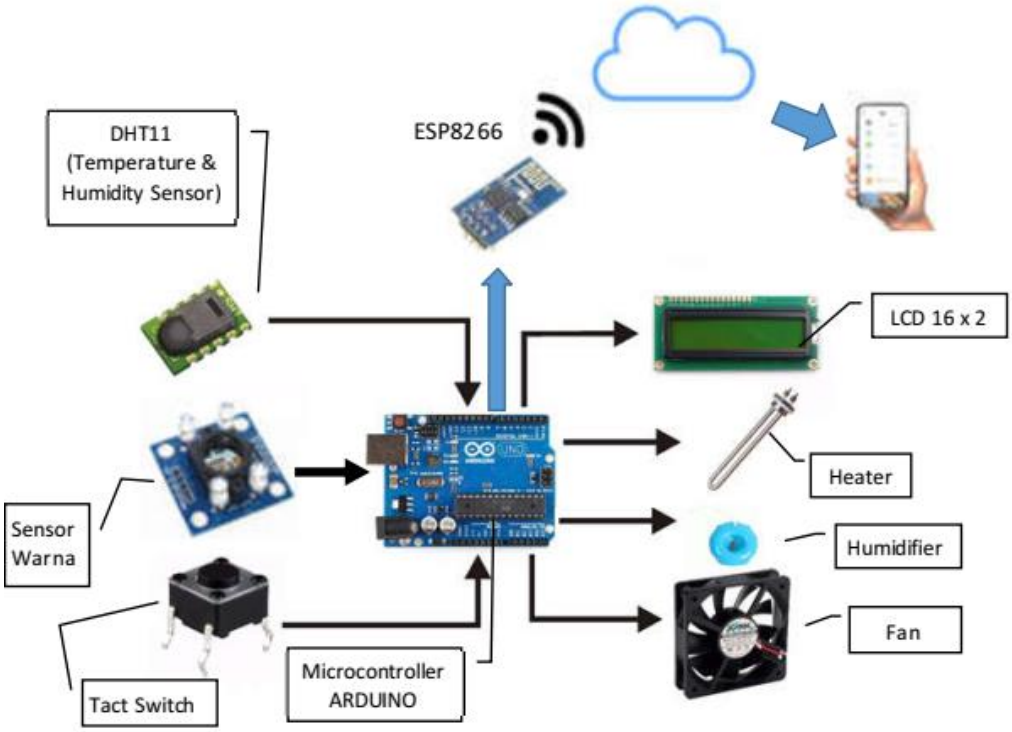
2. METODE PENELITIAN

Inkubator adalah suatu ruangan yang dibuat secara khusus untuk mengendalikan *temperature* dan kelembaban di dalamnya. Pada inkubator fermentasi tempe, temperatur yang dipertahanankan sekitar 30-35 ^{o}C, sedangkan kelembaban yang dipertahandakan sekitar 60%-70% RH. Oleh karena itu inkubator meliputi aspek fisik yaitu kotak untuk ruang inkubator, rangkaian pengendali elektronik dan perangkat lunak pengendalinya. Rancangan kotak inkubator disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Kotak Inkubator

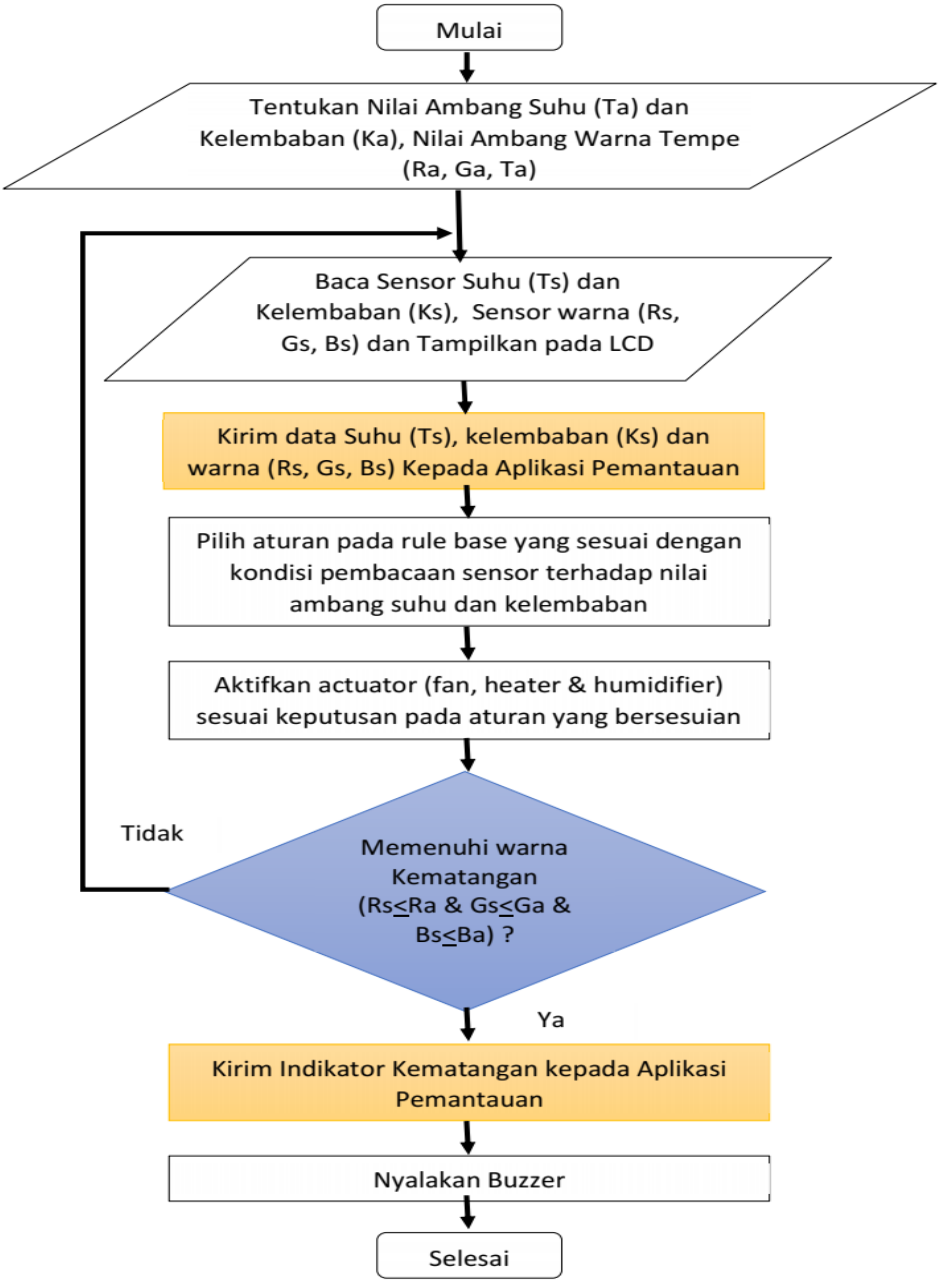
Kotak inkubator (Gambar 1) merupakan kotak dengan dimensi 80cm x 50 cm x 145 cm. Bahan utama kotak inkubator adalah baja ringan (*galvalume*). Kotak disusun atas kerangka yang membentuk balok yang kemudian sekelilingnya dipasangkan plat sehingga membentuk ruang. Bagian depan dibuat pintu yang dapat dibuka satu arah. Rancangan sistem pengendali temperatur dan kelembaban untuk proses fermentasi tempe dengan indikator kematangan berbasis sensor warna disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian-bagain sistem pengendali temperatur dan kelembaban dengan sensor warna

Sesuai dengan Gambar 2, disajikan elemen-elemen dari rancangan pengendali temperatur dan kelembaban dengan pemantau menggunakan IoT, yaitu Mikrokontroler Aduino, Sensor DHT (Temperatur dan kelembaban), Sensor Warna, LCD, *heater, fan, humidifier, buzzer, switch* yang dihubungkan dalam satu papan terpadu (PCB) serta terkoneksi dengan modul Wifi (ESP8266). Mikrokontroler arduino berperan sebagai otak pengendalian yang didalamnya ditanamkan program pengendalian. Sensor DHT sebagai pemungut kondisi parameter temperatur dan kelembaban yang selanjutnya untuk diolah oleh mikrokontroler kemudian disajikan melalui LCD. Sensor warna akan mendeteksi perubahan warna pada bahan tempe berdasarkan nilai RGB. Jika tempe mencapai kematangan maka nilai RGB tersebut dijadikan referensi sebagai indikator bahwa hasil ferementasi tempe siap diolah.

Progam pengendali pada mikronkontroler dibuat menggunakan bahasa C yang berperan membaca sensor dan berdasarkan algoritma yang diterapkan akan melakukan aksi-aksi pengendalian *heater*, *fan*, dan *humidifier*. Aksi pengendalian ini dalam rangka pengendalian temperatur dan kelembaban yang diharapkan. Selain itu pembacaan sensor warna dimaksudkan untuk mendapatkan indikasi dari kematangan fermentasi tempe. Pembacaan kondisi sensor juga untuk ditampilkan dalam LCD. Program pengendali tersebut sangat menentukan sistem kerja dari inkubator. Sistem kerja dari inkubator ini dikembangkan berdasarkan sejumlah aturan yang dikenal dengan *Rule based system*. Pendekatan ini menerapkan beberapa ataran-aturan pengambilan tindakan berdasarkan sejumlah kondisi-kondisi yang mungkin terjadi. Kondisi-kondisi tersebut terkait pembacaan sensor-sensor yang dibandingkan dengan nilai-nilai tertentu sehingga diperoleh acuan dalam pengambilan tindakan pengendalian. *Rule based system* memungkinkan disajikan menjadi semacam daftar tindakan berdasarkan kondisi-kondisi tertentu. Model operasi pengendalian tersebut dituangkan dalam diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir dari alur operasi sistem

Sesuai dengan alur program Gambar 3 diketahui *Rule Base* yang berperan dalam mengambil Tindakan pengendaian terhadap sejumlah aktuator (*heater, humidifier, fan*). Di bawah ini menyajikan sejumlah aturan dari *Rule base* yang diterapkan dalam pengendali.

a) JIKA Ts<Ta & Ks<Ka MAKA *Fan*=AKTIF, *Heater*= AKTIF, *Humidifier*= AKTIF
b) JIKA Ts<Ta & Ks>=Ka MAKA *Fan*= AKTIF, *Heater*= AKTIF, *Humidifier*=NON-AKTIF
c) JIKA Ts>=Ta & Ks<Ka MAKA *Fan*= AKTIF, *Heater*= NON-AKTIF, *Humidifier*= AKTIF
d) JIKA Ts>Ta+t & Ks<Ka+k MAKA *Fan*= AKTIF, *Heater*= NON-AKTIF, *Humidifier*= NON-AKTIF
e) JIKA Ts<Ta+t & Ks>Ka+k MAKA *Fan*= AKTIF, *Heater*= AKTIF, *Humidifier*= NON-AKTIF

f) JIKA Ta+t>Ts>Ta & Ka+k>Ks>Ka MAKA *Fan*= NON-AKTIF, *Heater*= NON-AKTIF, *Humidifier*= NON-AKTIF

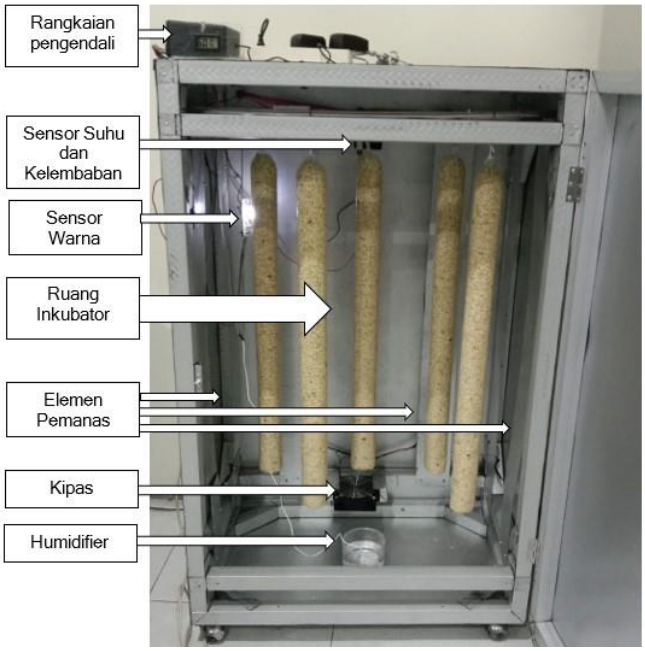
Keterangan :

Ts : Nilai temperatur dari sensor
Ta : Batas nilai temperatur
t : Nilai toleransi temperatur
Ks : Nilai kelembaban dari sensor
Ka : Batas nilai kelembaban
k : Nilai toleransi kelembaban

Indikator kematangan ditentukan berdasarkan hasil pembacaan sensor warna (Rs, Gs, Bs) yang dibandingkan terhadap ambang indikator kematangan (Ra, Ga, dan Ba). Jika Rs<Ra dan Gs<Ga dan Bs<Bs, maka diindikasikan fermentasi tempe telah mencapai kematangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implemetasi dari inovasi ini berupa *Prototipe* inkubator fermentasi tempe dengan pengendalian temperatur dan kelembaban dengan deteksi kematangan berbass sensor warna. Inkubator ini dapat dipantau menggunakan Aplikasi pada perangkat bergerak (IoT). Gambar 4 menyajikan gambar *Prototipe* inkubator yang telah dibuat.



Gambar 4. *Prototipe* Inkubator fermentasi tempe dan bagian-bagiannya.

Dalam inkubator dipasangkan Sensor temperatur dan kelembaban type DHT, Sensor Warna type TCS3200, elemen pemanas yang menggunakan elemen penghangat magic jar sebanyak 6 elemen yang masing-masing sebesar 40 watt, mini *humidifier* 5V 500mA dan kipas untuk pendinginan (*cooling fan*) AC 220V dengan dimensi 12 cm x 12 cm. Sistem pengendali berupa rangkaian elektronik berbasis arduino (Gambar 5a) dan aplikasi pemantau (monitor) untuk *smartphone* (Gambar 5b).

(a) (b)

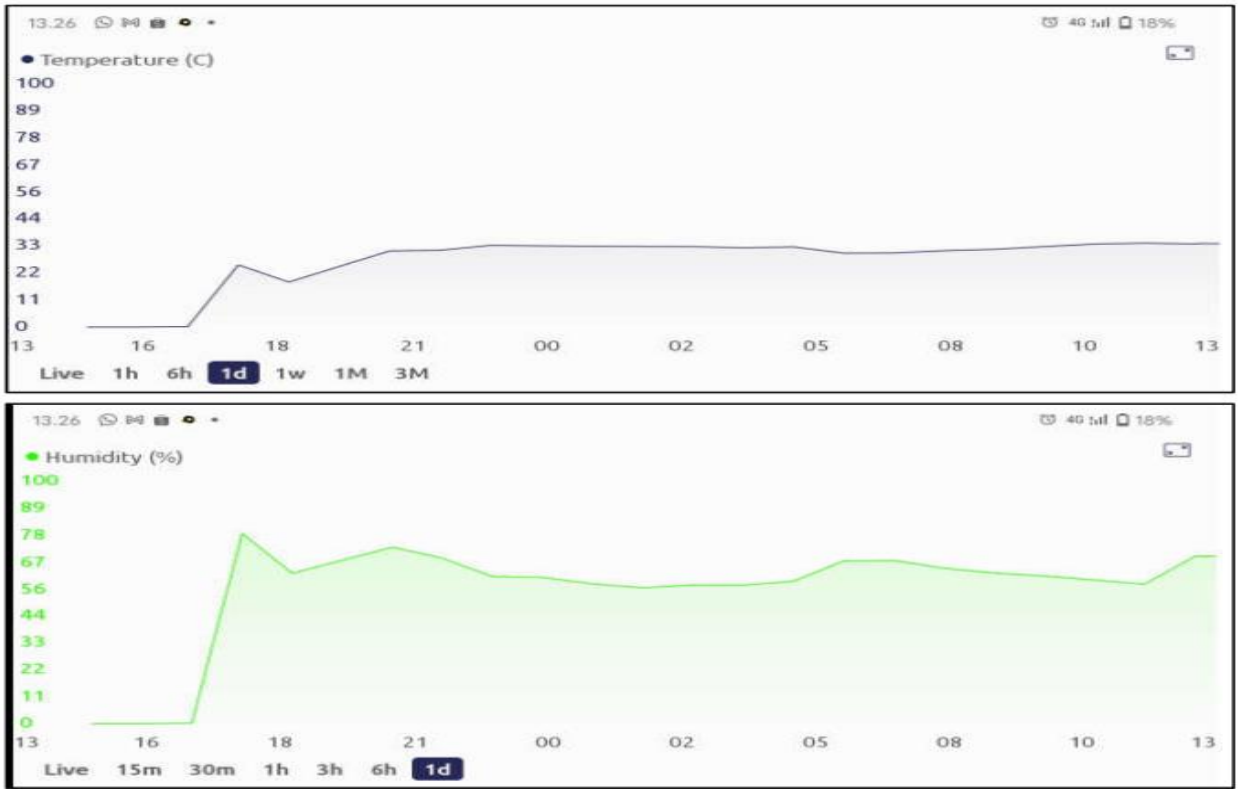
Gambar 5. (a) Implementasi Rangkaian Pengendali dan (b) Aplikasi Pemantau (IoT)

Rangkaian elektronik pengendali (Gambar 5a) berbasis arduino yang berperan dalam melakukan mekanisme pengendalian berdasarkan kondisi temperatur dan kelembaban dalam inkubator yang terbaca oleh sensor DHT. Gambar 5b merupakan tampilan aplikasi pemantauan kondisi temperatur dan kelembaban dalam inkubator dan data warna tempe berdasarkan sensor warna dalam nilai RGB.

(a) (b)

Gambar 6. Pengujian inkubator fermentasi tempe (a) penempatan tempe (b) penempatan sensor warna pada sampel tempe

Sistem inkubator yang telah mampu beroperasi dengan, selanjutkan dilakukan pengujian kinerja. Bahan tempe (kedelai dan kapang) yang sudah dicampur dan dikemas selanjutnya dimasukkan dalam inkubator. Kemudian dilakukan proses fermentasi dan dilakukan pemantauan terhadap pengendalian kondisi inkubator melalui aplikasi. Hasil pemantauan temperatur dan kelembaban inkubator ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pemantauan Temperatur dan Kelembaban Inkubator melalui Aplikasi Monitoring

Pengujian selanjutnya adalah pengujian warna kematangan fermentasi tempe. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan nilai R, G, dan B dari pembacaan sensor warna sehingga dapat ditentukan nilia ambang kematangan fermentasi tempe. Hasil pengujian sensor warna disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor warna

No	Kode Sampel	Kondisi awal (Mentah)			Kondisi akhir (Matang)		
		R	G	B	R	G	B
1	S1	24	29	29	22	26	24
2	S2	24	28	28	22	25	23
3	S3	24	28	28	22	25	23
4	S4	23	27	27	22	24	22
5	S5	23	27	27	22	24	22
Nilai Maksimum		24	29	29	22	26	24
Nilai Minimum		23	27	27	22	24	22
Rerata		23.6	27.8	27.8	22	24.8	22.8

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai RGB antara kondisi obyek yang masih mentah dengan yang sudah matang [11][12][13]. Pada kondisi matang dari lima sampel uji diperoleh nilai maksimum Rmax =22, Gmax=26, dan Bmax=24. Hal ini berbeda dengan niai RGB ketika fermentasi tempe masih mentah. Oleh karena itu nilai maksimum tersebut dapat dijadikan referensi sebagai ambang indikator kematangan fermentasi tempe jika sensor warna memenuhi keseluruhan nilai tersebut atau dibawahnya. Selanjutnya referensi tersebut diujicobakan pada uji produksi tempe. Pengujian ini menggunakan obyek tempe selindris sebagai bahan produksi kripik

tempe. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan proses fermentasi kedelai menjadi tempe melalui penggunaan inkubator dengan menggunakan lingkungan terbuka (manual). Hasil pengujian disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian proses fermentasi tempe secara manual (terbuka) dan menggunakan inkubator (otomatis)

Jumlah Produksi (kg)	Metode Fermentasi	Jumlah Tempe (Kantong)	Waktu Kematangan (jam)
4	Terbuka (Manual)	5	60
4	Inkubator (Otomatis)	5	19

Hasil fermentasi tempe memanfaatkan inkubator (otomatis) terbukti lebih cepat daripada metode manual atau secara terbuka[3][4][5][6], seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2. Proses fermentasi secara terbuka memerlukan waktu sekitar 60 jam, sementara dengan inkubator otomatis yang mengatur temperatur dan kelembaban, waktu yang diperlukan hanya sekitar 19 jam. Dalam hal ini, penggunaan inkubator terbukti tiga kali lebih cepat daripada metode terbuka. Lebih lanjut, pendekatan fermentasi tempe yang lebih efisien dengan inkubator berpotensi mempersingkat waktu, yang berkontribusi pada peningkatan proses produksi. Penyedia tempe juga akan lebih mudah memantau kondisi temperatur dan kelembaban inkubator melalui aplikasi pada *smartphone*, memanfaatkan *Internet of Things* (IoT)[7][8].

4. KESIMPULAN

Prototipe inkubator dirancang untuk mengendalikan temperatur pada set point 35 derajat Celcius dan rentang kelembaban 60%-70% RH. Sensor warna bekerja mendeteksi kematangan fermentasi tempe berdasarkan ambang batas nilai RGB. *Prototipe* telah diujicoba untuk produksi fermentasi tempe yang mampu menghasilkan kematangan fermentasi dalam waktu kurang dari 20 jam. Pengguna dapat memantau kondisi inkubator melalui gaway dengan adanya sistem IoT yang dikembangkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarkat (DRTPM), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Kemendikbudristek) melalui Bantuan Biaya Luaran *Prototipe* Tahun 2023.

6. REFERENSI

[1] BPS Kota Malang, Pengamatan Suhu di Kota Malang (°C), 2022 [cited 2023 Jun 26]. Available from:https://malangkota.bps.go.id/indicator/151/505/1/pengamatan-suhu-di-kota-malang.html

[2] BPS Kota Malang, Pengamatan Kelembaban Udara di Kota Malang (Persen (%)), 2022 [cited 2023 Jun 26]. Available from: https://malangkota.bps.go.id/indicator/151/511/1/pengamatan-kelembaban-udara-di-kota-malang.html

[3] Putri R S., et al. Penerapan Teknologi Pengendali Fermentasi Tempe Bagi Usaha Krudel Lariso Kelurahan Purwantoro Kota Malang. In: Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH). 2018. p. 353-361.

[4] Hidayat, A, et al. SISTEM PENGENDALI SUHU DAN KELEMBAPAN PADA INKUBATOR TEMPE BERBASIS MIKROKONTROLLER ESP 32. In: Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV). 2020. p. 1103-1110.
[5] Wijanarko D, Hasanah S. Monitoring suhu dan kelembaban menggunakan sms gateway pada proses fermentasi tempe secara otomatis berbasis mikrokontroler. Jurnal Informatika Polinema, 2017, 4.1: 49-49.
[6] Berutu, TS. Alat Pengontrol Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe dengan Menggunakan Sensor DHT-11 Berbasis Arduino Uno dengan Tampilan *Smartphone* Android. 2019. Thesis. Universitas Sumatera Utara.
[7] Gunawan B, Sukardi S. Rancang Bangun Pengontrolan Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe Berbasis *Internet of Things*. JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia. 2020 Nov 10;1(2):168-73.
[8] Soelistijorini, R. Implementasi ESP32 Untuk Monitoring Suhu Dan Kelembapan Pada Fermentasi Tempe Berbasis IoT. In: Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan. 2019. p. 61-65.
[9] Istiadi, et al. Classification of Tempeh Maturity Using Decision Tree and Three Texture Features. JOIV: International Journal on Informatics Visualization, 2022, 6.4: 883-889.
[10] Istiadi, Rahman, AY, Wisnu, ADR. Identification of Tempe Fermentation Maturity Using Principal Component Analysis and K-Nearest Neighbor. Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika, 2023, 8.1: 286-294.
[11] Ajizi MF, Syauqy D, Ichsan MH. Klasifikasi Kematangan Buah Pisang Berbasis Sensor Warna dan Sensor Load Cell Menggunakan Metode Naive Bayes. Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer. 2019 Jan 10;3(3):2472-9.
[12] Kurniawan R. KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH PEPAYA BERDASARKAN WARNA KULIT MENGGUNAKAN SENSOR WARNA TCS3200. Journal ICTEE. 2023 Mar 27;4(1):1-3.
[13] Tamam MT, Taufiq AJ, Dwiono W. Rancang Bangun Purwarupa Sistem Deteksi Tingkat Kematangan Buah Jeruk Berdasarkan Warna Kulitnya. Jurnal Riset Rekayasa Elektro. 2020 Dec 31;2(2):55-8.