



Terbit online pada laman : <http://teknosi.fti.unand.ac.id/>

Jurnal Nasional Teknologi dan Sistem Informasi

| ISSN (Print) 2460-3465 | ISSN (Online) 2476-8812 |



Artikel Penelitian

Adopsi *Internet Of Things* (IOT) Pada Rantai Pasok Pangan Guna Mengurangi *Food Lost Waste* (FLW) Rantai Pasok Pangan

Mutia Perwita Sari ^{a,*}, Shofwatunnida Septarini ^b

^a Universitas Hamzanwadi, Jln Cut Nyak Dien No.85. (0376)2295

^b Universitas Hamzanwadi, Jln Cut Nyak Dien No.85. (0376)2295

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 21 Oktober 2025

Revisi Akhir: 05 Januari 2026

Diterbitkan Online: 08 Januari 2026

KATA KUNCI

IoT-based Fermentation Control,
Food lost waste (FLW),
Manajemen Industri,
Real-time Monitoring in Food Supply Shain,
Ketahanan Pangan

KORESPONDENSI

E-mail: mutia.perwitasari24@gmail.com

A B S T R A C T

Kedelai merupakan salah satu komoditi pangan terbesar di Indonesia, salah satu olahan kedelai yang menjadi menu harian masyarakat Indonesia adalah tempe. Tempe adalah salah satu makanan tradisional yang memiliki kandungan gizi yang baik dan hampir semua kalangan umur dapat mengkonsumsi tempe. Masalah yang sering muncul bahwa tempe tidak dapat bertahan lama setelah di beli di pasar. Kualitas tempe yang kurang baik sehingga mempengaruhi rasa tempe pada saat di konsumsi. Kualitas tempe yang kurang bagus biasanya disebabkan oleh cuaca yang tidak menentu pada saat proses fermentasi dan masa penyimpanan yang pendek. Hal tersebut dapat meningkatkan terjadinya *food lost and waste* (FLW). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam mengendalikan suhu dan kelembaban proses fermentasi tempe guna mengurangi potensi FLW. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan tiga skenario fermentasi, yaitu fermentasi pada suhu ruang terbuka, suhu ruang tertutup, dan fermentasi menggunakan inkubator berbasis IoT yang dilengkapi sensor DHT11 untuk pemantauan suhu dan kelembaban secara real time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi tempe menggunakan inkubator berbasis IoT mampu menghasilkan tempe dengan kualitas optimal dalam waktu 26 jam, lebih cepat 11 jam dibandingkan metode fermentasi konvensional. Selain itu, ketebalan suhu pada rentang 30–35 °C dan kelembaban 44–45% turut mendukung pertumbuhan jamur tempe secara merata serta menurunkan risiko kegagalan fermentasi. Penerapan IoT pada proses fermentasi tempe berpotensi menekan FLW, meningkatkan efisiensi produksi, serta mendukung keberlanjutan rantai pasok pangan pada skala usaha kecil dan menengah.

1. PENDAHULUAN

Sektor pangan berperan penting dalam strategis menjamin ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat. Namun, tingginya angka *Food Loss and Waste* (FLW) masih menjadi tantangan serius, terutama pada rantai pasok pangan yang kompleks dan rentan, seperti pada produk tempe. Menurut penelitian [1] hasil pertanian dan peternakan berada dibawah ancaman serius akibat dampak pemanasan global, yang diwujudkan dalam pola cuaca yang bervariasi. Sehingga para pelaku produsen memerlukan strategi yang ketat akibat perubahan iklim guna menjaga kualitas suatu produk.

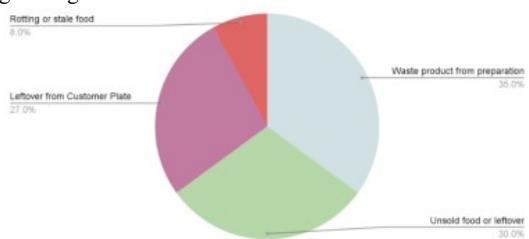
Menurut Badan Standardisasi Nasional, tempe merupakan salah satu makanan tradisional Indonesia dengan kandungan gizi yang baik. Sebagian besar masyarakat Indonesia menjadikannya sebagai menu konsumsi harian [2]. Sekitar 50% kedelai digunakan untuk membuat tempe, 40% untuk tahu, dan 10% sisanya diolah menjadi produk lain seperti tauco, kecap, dan sebagainya [2]. Karena itu, pengolahan tempe berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai produk unggulan [3]. Proses fermentasi tempe dengan cara mencampur kedelai menggunakan beberapa jenis kapang *Rhizopus*. Bahan fermentasi tersebut secara umum dikenal dengan ragi tempe. Terjadinya pertumbuhan bakteri berkisar antara 30°C sampai 44°C, dengan tingkat kelembaban sekitar 60%-80%[4]. Kondisi cuaca yang tidak stabil dapat mempengaruhi bakteri pada ragi tempe sehingga tidak

dapat berkembang dengan baik dan akan menghasilkan produk cacat [5].

Permasalahan seperti inkonsistensi tekstur pada tempe, umur simpan yang pendek, produk cacat, kerusakan bahan baku, kondisi penyimpanan yang tidak memadai, hingga kurangnya informasi *real time* menjadi penyebab terjadinya *food lost and waste (FLW)*. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah implementasi *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan sistem kontrol otomatis untuk suhu dan kelembapan pada ruang fermentasi [6]. IoT adalah jaringan objek fisik yang dilengkapi sensor, perangkat lunak, dan teknologi pendukung lainnya sehingga mampu berkomunikasi dan saling bertukar data melalui internet dengan perangkat atau sistem lain [7].

Integrasi IoT membuat operasi lebih efisien dan secara signifikan memperkuat keberlanjutan rantai pasok berkat pemantauan otomatis [8]. Selain itu dengan mengukur parameter kualitas seperti suhu dan kelembapan, sensor waktu *separa real time* dapat terus memantau kualitas pangan dan dengan demikian membantu mengurangi FLW[9].

Tingginya limbah akibat FLW berdampak pada konsekuensi negatif terhadap keberlanjutan sosial, ekonomi, dan lingkungan. Makanan yang terbuang di tempat pembuangan sampah menghasilkan sekitar 8%-10% emisi gas rumah kaca global, belum lagi jejak air biru, jejak tanah dan pengurangan keanekaragaman hayati [11]. Penelitian yang dilakukan [12] menyajikan informasi mengenai sumber daya harian sampah makanan, yang diberikan oleh pemilik makanan. Dengan kategori pertama adalah makanan yang sudah rusak akibat kualitas yang kurang baik.



Gambar 1. Sumber Daya Sampah Makanan Harian[12]

Perancangan alat inkubator fermentasi tempe diharapkan mampu menciptakan kondisi yang mendekati kondisi optimal fermentasi, yaitu pada rentang suhu 30°C–40°C dengan waktu fermentasi tidak lebih dari 48 jam, serta meminimalkan gangguan akibat ketidakstabilan lingkungan seperti perubahan cuaca yang tidak menentu. Serta dapat memperpanjang masa penyimpanan sehingga ketika tempe sampai pada *end customer* kualitas tempe tersebut masih tetap baik meskipun tempe tidak langsung diolah menjadi makanan. Sehingga dapat menekan terjadinya pemborosan yang terjadi akibat *food lost waste*.

Perancangan inkubator fermentasi tempe berbasis IOT dirancang untuk memonitoring dan mengontrol suhu dan kelembapan secara *real-time*. Dalam melakukan ekspresiman terdapat beberapa tahap yang dapat dilakukan seperti merumuskan konsep desain dan menyiapkan seluruh alat-bahan, unit pengontrol suhu dirancang dan diperiksa, lalu diuji untuk memverifikasi

operasional normal. Data suhu dikumpulkan, dianalisis, dan dijadikan dasar penyusunan kesimpulan.[13]

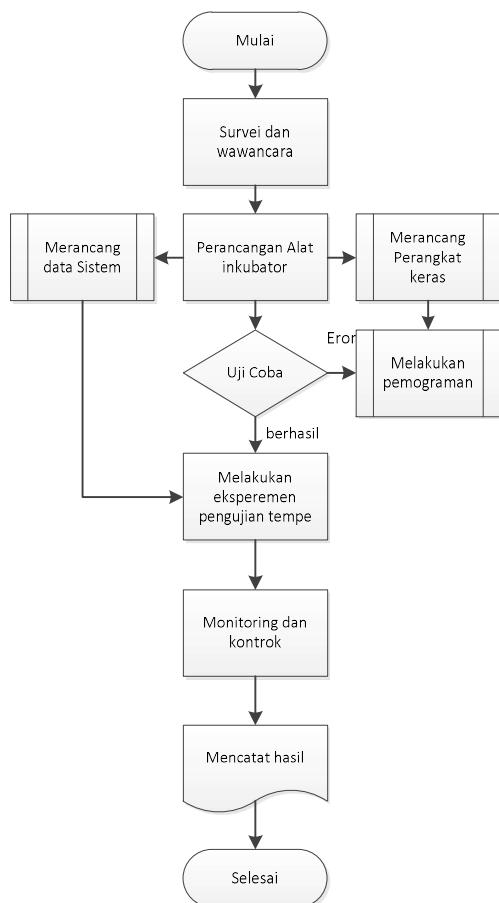
Salah satu komponen utama pada sistem ini adalah sensor suhu dan kelembapan seperti sensor DTH11. Bila mana suhu pada alat ini menurun atau dibawah ambang batas minimum maka bola lampu menyala sehingga suhu akan naik dan sebaliknya pada saat suhu dalam alat tersebut sudah melebihi ambang batas maka lampu akan mati dan kipas akan otomatis menyala agar suhunya turun kembali. Selain itu juga untuk membantu menaikkan tingkat kelembapan pada alat tersebut ditambahkan nampan berisi air, sehingga dengan tingkat kelembapan yang tidak terlalu kecil dapat mempercepat pertumbuhan jamur [14]. Jadi garis besar dari alat ini adalah bagaimana suhu dan kelembapan untuk fermentasi tempe itu berada pada suhu yang stabil sehingga fermentasi berjalan maksimal.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan *Internet of Things* (IoT) efektif dalam memantau suhu dan kelembapan pada rantai pasok pangan untuk menekan kerusakan produk dan *Food Loss and Waste* (FLW) [15]. Studi lain menekankan pemanfaatan IoT pada tahap distribusi dan penyimpanan pangan segar [16]. Namun, penelitian terkait pengendalian fermentasi pangan berbasis IoT masih terbatas dan umumnya bersifat monitoring pasif tanpa kontrol *real-time* [17]. Selain itu, keterkaitan langsung antara stabilitas fermentasi tempe berbasis IoT dan penurunan FLW pada skala UKM belum banyak. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan kontrol fermentasi *real-time* berbasis IoT sebagai upaya reduksi FLW dalam rantai pasok pangan.

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah tingginya *Food Loss and Waste* (FLW) pada produk tempe yang disebabkan oleh ketidakstabilan suhu dan kelembapan selama proses fermentasi. Proses fermentasi tempe yang masih dilakukan secara tradisional sangat bergantung pada kondisi cuaca sehingga sulit dikendalikan dan dipantau secara akurat. Ketiadaan sistem pemantauan dan pengendalian suhu serta kelembapan secara *real-time* menyebabkan fermentasi sering tidak optimal, menghasilkan produk cacat, umur simpan pendek, dan peningkatan limbah pangan di sepanjang rantai pasok. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan berbasis teknologi yang mampu memantau dan mengontrol kondisi fermentasi secara *real-time* guna meningkatkan konsistensi kualitas tempe serta menekan potensi terjadinya FLW

2. METODE

Terdapat beberapa tahap yang dilakukan dalam penelitian ini, tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian seperti survei dan wawancara kepada pemilik usaha produk tempe. Wawancara dilakukan guna mengetahui permasalahan yang sering muncul dalam tahap proses fermentasi tempe. Selain wawancara yang dilakukan kepada pemilik usaha tempe, peneliti juga melakukan wawancara terhadap *end customer*.

Wawancara dilakukan guna mengetahui kualitas tempe yang akan dikonsumsi setelah *end customer* membeli tempe dari pasar. Setelah melakukan wawancara peneliti kemudian mencari studi literatur yang dapat memberi pandangan solusi terhadap temuan permasalahan yang ada.

Setelah dilakukan survei peneliti merancang box yang digunakan untuk memasang alat, kemudian merakit komponen-komponen mikrokontroler, melakukan uji coba alat sesuai dengan beberapa *scenario* pengujian/eksperimen yang sudah disusun dan melakukan eksperimen dengan memonitoring suhu dan kelembapan selama proses fermentasi. Kemudian mencatat hasil, melakukan analisa, dan menarik kesimpulan dari hasil analisa tersebut.

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga sampel kedelai yang telah diberi ragi tempe, yang mengandung beberapa jenis kapang Rhizopus, untuk proses fermentasi. Pendekatan eksperimental diterapkan

guna mengevaluasi pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dalam fermentasi kedelai menjadi tempe dengan meninjau kualitas produk yang dihasilkan.

Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan eksperimen. Tahap pertama dilakukan pada kondisi suhu ruang terbuka, tahap kedua pada suhu ruang tertutup dengan satu ventilasi udara, dan tahap ketiga menggunakan alat inkubator fermentasi tempe yang telah terintegrasi dengan teknologi IoT

2.1.1. Internet of Things (IOT)

Internet of Things (IoT) didefinisikan sebagai jaringan objek fisik yang saling terhubung dan dapat diidentifikasi secara jelas yang dapat berkomunikasi satu sama lain dan teknologi berbasis internet lainnya yang dapat mengumpulkan dan bertukar data untuk mendorong solusi cerdas [18]. Sehingga memungkinkan adaptasi antara objek dan lingkungan terhadap kebutuhan manusia.

Dalam menjaga kualitas tempe IoT sangat berperan penting dalam menjaga suhu dan kelembapan secara optimal agar pertumbuhan jamur *Rhizopus* dapat berkembang dengan baik dan merata agar menghasilkan tempe lebih konsisten dari segi kualitas, rasa dan aroma serta memiliki umur simpan yang lama.

Selain itu juga pemanfaatan IoT dalam penelitian ini yaitu dari sisi monitoring yang menampilkan tingkat suhu dan kelembapan dalam suatu aplikasi yang terintegrasi dengan perangkat keras yang ada pada alat inkubator, sehingga dapat menyajikan data secara *real time*. Pada aplikasi tersebut juga di tambahkan fitur *button switch on/off* yang memungkinkan kita dapat menghubungkan atau memutus aliran listrik yang terhubung ke *relay* yang ada pada alat tersebut.

2.1.2. Fermentasi Tempe

Fermentasi adalah proses yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghasilkan metabolit primer dan sekunder pada kondisi lingkungan yang terkontrol. Istilah fermentasi sering digunakan untuk menggambarkan proses konversi glukosa menjadi alkohol [19]. Sebagian besar proses pembuatan tempe masih dilakukan secara tradisional. Saat cuaca mendung, tempe umumnya ditutup untuk menjaga kestabilan suhu. Namun, produsen tidak mengetahui secara pasti kondisi suhu dan kelembapan yang terbentuk, sehingga proses fermentasi sering kali tidak stabil dan berpotensi menghasilkan produk cacat.

2.2. Perancangan Alat

Perancangan alat inkubator dimulai dengan menentukan box yang akan digunakan sebagai wadah inkubator dan tempat terpasangnya komponen pengendali suhu dan kelembapan saat proses fermentasi tempe berlangsung. Komponen utama dari alat ini yaitu Nodemcu sebagai mikrokontroler dan DHT11 sebagai sensor suhu sekaligus kelembapan.

Selanjutnya dilakukan perakitan dari beberapa komponen dimulai dari menghubungkan mikrokontroler dengan sensor DHT11 lalu hasil pengiriman data dari sensor yang sudah diolah oleh mikrokontroler dapat dikirimkan ke *cloud*, sehingga aplikasi monitoring dapat mengambil data yang ada di *cloud* lalu

menyajikannya dalam bentuk diagram pada dashboard monitoring. Data yang di terima aplikasi terupdate secara realtime dengan syarat aplikasi dan mikrokontroler terhubung dengan internet.

Selain itu juga pada mikrokontroler ditanamkan beberapa *logic* yang memungkinkan pengolahan data sensor dengan output berupa otomatisasi *on/off* dari perangkat *relay* yang sudah terhubung dengan listrik dan komponen lainnya. Sehingga dari hal tersebut memungkinkan suhu dan kelembapan dari alat ini dapat terjaga sesuai dengan yang sudah ditentukan.

Sensor DHT11 digunakan karena mampu melakukan pembacaan data dengan interval minimum 1 menit, serta memiliki karakteristik tegangan input dan konsumsi arus yang relatif setara dengan sensor DHT22.[20]

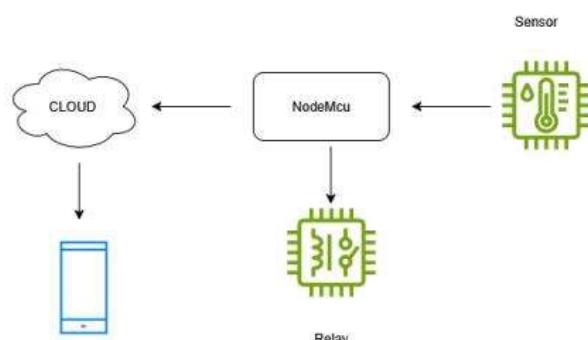
```

61 Serial.print(F("Humidity: "));
62 Serial.print(hum);
63 Serial.print("\n");
64 Serial.print(F(" Temperature: "));
65 Serial.print(tem);
66 Serial.print(F("°C "));
67
68
69 Blynk.virtualWrite(V5, hum);
70 Blynk.virtualWrite(V6, tem);
71
72 if (tem >= 31) {
73     digitalWrite(D1, LOW);
74     digitalWrite(D8, HIGH);
75     delay (5000);
76 } else if (tem < 31) {
77     digitalWrite(D1, HIGH);
    
```

Gambar 3. Program Nodemcu

2.2.1. Alur Perancangan Data Sistem

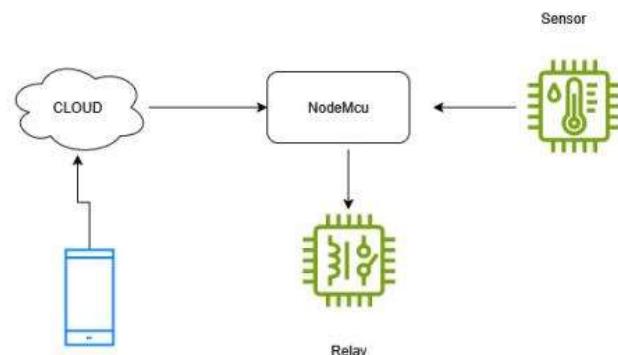
Data yang telah terbaca oleh NodeMcu otomatis akan ditampilkan melalui Smartphone menggunakan aplikasi *blynk* yang telah terkoneksi melalui jaringan internet. Gambar 4 menunjukkan bagaimana Alur perancangan data sistem terbaca oleh NodeMcu yang kemudian ditampilkan melalui smartphone.



Gambar 4. Alur Perancangan Data System Sensor

Pada diagram tersebut mencerminkan bagaimana alur dari pembacaan sensor lalu pengiriman data ke mikrokontroler kemudian diolah menjadi data yang dikirimkan ke *cloud* untuk ditampilkan di aplikasi berupa pembacaan suhu dan kelembapan. Diagram tersebut juga menunjukkan keterhubungan mikrokontroler dengan relay yang memungkinkan sistem otomatisasi bekerja. Mikrokontroler memproses data dari sensor dan mengirimkannya ke *cloud* secara real time, sehingga informasi pada aplikasi monitoring selalu diperbarui. Proses pengiriman data ini memerlukan koneksi internet, baik melalui NodeMCU maupun smartphone yang telah terpasang aplikasi Blynk sebagai media pemantauan. Namun dalam proses *logic* otomatisasi *on/off relay* tidak perlu membutuhkan akses internet. Hanya proses yang melewati alur mikrokontroler atau nodemcu ke *cloud* lalu aplikasi atau sebaliknya saja yang harus memiliki akses internet satu sama lain.

Selanjutnya diagram alur yang perencanaan sistem *button switch on/off* yang ada pada aplikasi yaitu pada Gambar 5.

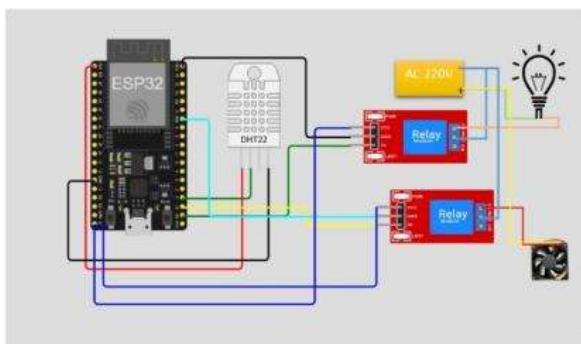


Gambar 5. Alur Perancangan Data System Button Switch

Pada diagram tersebut melihat bagaimana alur message dari aplikasi *blynk* akan dikirim ke *cloud* lalu *cloud* mengirimkan ke mikrokontroler Nodemcu, lalu pada mikrokontroler mengolah message tersebut sesuai dengan *logic* yang akan berikan baik itu menyambungkan atau memutus aliran arus listrik pada masing-masing *relay*. Proses pengiriman message dari aplikasi lalu ke *cloud* kemudian ke nodemcu mengharuskan perangkat smartphone atau nodemcu masing-masing memiliki akses internet. Namun pada proses dari Nodemcu ke *relay* atau dari sensor ke nodemcu lalu ke *relay* proses itu tidak memerlukan internet.

2.2.2. Cara Kerja Rangkaian Perangkat Keras

Energi listrik yang digunakan pada alat berasal dari daya listrik PLN yang kemudian digunakan untuk menghidupkan mikrokontroler, kipas DC dan lampu pijar. Dalam penelitian ini digunakan lampu pijar sebagai pemanas, sementara kipas dimanfaatkan untuk sirkulasi dan ventilasi udara [20]. Pengaturan batas suhu dan kelembapan di atur didalam program yang sudah di atur setpointnya. Desain skema perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian perangkat Keras

Alat tersebut bekerja dengan cara sesnsor mengirimkan pesan ke mikrokontroler. Pesan diolah dan disesuaikan dengan logika yang telah di upload, lalu pada kondisi tersebut akan diartikan bila suhu $> 40^{\circ}\text{C}$ maka *relay/switch* yang terhubung pada lampu pijar akan off .selain itu ketika suhu ruang fermentasi melebihi batas, lampu pemanas dimatikan, sementara *relay/sakelar* yang terhubung ke kipas diaktifkan untuk menstabilkan suhu. Sebaliknya, jika sensor pada NodeMCU mendeteksi suhu di bawah 30°C , *relay* akan menyalaakan lampu pijar sebagai pemanas.

Selain itu suhu yang terdeteksi pada sensor akan akan dibaca dan dikirim ke *cloud* untuk kemudian ditampilkan pada aplikasi *blynk* pada android yang terkoneksi dengan Wifi. Menurut [21] Internet memiliki peran penting dalam menyediakan transfer data throughput tinggi. Internet dapat diterapkan dalam aplikasi IoT untuk tujuan pengendalian kualitas makanan. Pada alat ini peran internet cukup penting, salah satunya bagaimana data dikirimkan dari mikrokontroler ke *cloud* yang akhirnya aplikasi dapat menarik data dari *cloud* untuk ditampilkan pada aplikasi. Dengan akses internet kita dapat memonitoring suhu dan kelembapan secara *real time* melalui aplikasi.

Namun untuk *logic* otomatisasi yang sudah di tanamkan pada mikrokontroler tidak perlu akses internet jadi hanya memerlukan data yang dikirimkan oleh sensor lalu diolah oleh mikrokontroler dan disesuaikan dengan *logic* otomatisasi yang sudah setting sebelumnya. Jadi bila mana ada suatu kondisi internet mati alat ini masih bisa berjalan namun tidak semua fitur akan berfungsi.

2.3. Prosedur Pengujian

Pengujian alat dilaksanakan melalui beberapa tahap: menyiapkan perangkat yang diperlukan, mengatur pengendali suhu dan kelembapan selama proses fermentasi, memantau serta mencatat data hasil pengendalian suhu dan kelembapan, lalu menganalisis data pengujian pada proses fermentasi tempe.

2.4. Desain Eksperimen sebagai Pendekatan Evaluasi Dampak IoT terhadap FLW

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen komparatif dengan tiga skenario fermentasi tempe yang dirancang secara khusus untuk mengevaluasi dampak penerapan IoT terhadap potensi FLW. Pertama fermentasi pada suhu ruang terbuka, dimana skenario ini merepresentasikan kondisi fermentasi paling

rentan terhadap fluktuasi suhu dan kelembapan lingkungan. Kedua fermentasi pada suhu ruang tertutup. Ketiga fermentasi menggunakan inkubator berbasis IoT, Skenario ini dirancang sebagai intervensi utama penelitian, di mana suhu dan kelembapan dikontrol dan dimonitor secara *real time* menggunakan teknologi IoT.

Perbandingan ketiga skenario tersebut dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa perbedaan hasil fermentasi tidak hanya mencerminkan kualitas tempe, tetapi juga potensi pengurangan FLW pada tahap produksi dalam rantai pasok pangan.

2.5. Pengukuran Variabel Food Lost and Waste

Dalam penelitian ini, *Food Loss and Waste* (FLW) dipahami sebagai kehilangan atau pemborosan pangan yang terjadi akibat kegagalan proses fermentasi, penurunan kualitas produk, serta keterbatasan umur simpan tempe sebelum sampai ke konsumen akhir. Untuk menilai dampak penerapan *Internet of Things* (IoT) terhadap pengurangan FLW, ditetapkan beberapa variabel FLW sebagai berikut:

1. Tingkat kegagalan fermentasi, yaitu kondisi tempe yang tidak terbentuk sempurna (jamur tidak tumbuh merata, kedelai mengering, berlendir, atau berbau tidak normal) sehingga tidak layak jual.
2. Waktu fermentasi hingga tempe layak konsumsi, yang memengaruhi efisiensi produksi dan potensi kerusakan akibat fermentasi berlebih
3. Potensi tempe tidak layak jual, yang diidentifikasi dari kualitas fisik tempe pada akhir proses fermentasi (tekstur, warna, dan pertumbuhan jamur)
4. Implikasi terhadap umur simpan, yang diasumsikan semakin baik apabila tempe difermentasi pada kondisi suhu dan kelembapan optimal secara konsisten.

2.6. Indikator Terukur Pengurangan FLW

Untuk memperkuat analisis, penelitian ini menggunakan beberapa indikator terukur, yaitu yang pertama waktu fermentasi (jam) hingga tempe mencapai kondisi optimal. Kedua yaitu keberhasilan atau kegagalan fermentasi pada setiap scenario (berhasil sempurna atau *defect*). Ketiga yaitu estimasi penurunan potensi FLW yang ditunjukkan melalui berkurangnya jumlah tempe gagal pada saat fermentasi, pembeda waktu produksi disbanding metode tradisional dan meningkatkannya konsistensi kualitas produk.

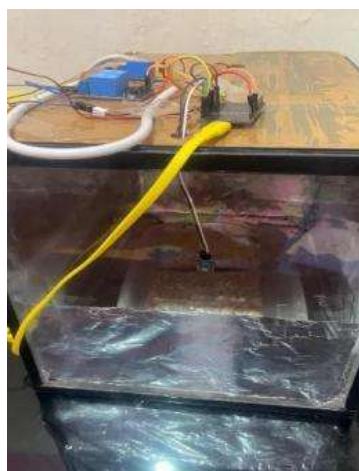
Hasil pengujian dari ketiga skenario kemudian dianalisis secara komparatif untuk menunjukkan bahwa penerapan inkubator fermentasi berbasis IoT berkontribusi langsung dalam menekan potensi *Food Loss and Waste* (FLW) pada rantai pasok pangan, khususnya pada tahap produksi tempe.

3. HASIL

Proses pengujian terdiri dari dua bagian. Bagian pertama adalah pengujian alat yang sudah dirancang dan bagian kedua adalah pengujian terhadap kedelai yang akan di fermentasikan dengan tiga kondisi lingkungan yaitu pada suhu ruang tertutup, suhu ruang terbuka dan suhu didalam alat inkubator yang telah di rancang.

3.1 Pengujian Alat

Perangkat keras mikrokontroler yang telah dirangkai dipasang pada boks ruang fermentasi tempe guna mempermudah pemantauan kondisi suhu dan kelembapan di dalam ruang fermentasi. Selain itu, koneksi internet pada mikrokontroler dipastikan berfungsi dengan baik, salah satu caranya dengan mengecek aplikasi *blynk* bila mana indikator suhu dan kelembapan sudah menampilkan data dan data tersebut cenderung meningkat pada saat baru pertama kali dinyalakan artinya sensor sudah mulai bekerja untuk mendekati suhu ataupun kelembapan pada alat inkubator dan pada saat pertama kali dinyalakan lampu pijar akan langsung menyala karena suhu awal dimulai dari 0.



Gambar 7. Box Inkubator Pengendali Suhu dan Kelembapan.



Gambar 8. Tampilan Aplikasi *Blynk*

Pengujian dilakukan pada alat dilihat Gambar 7 dan 8. Berdasarkan pengujian melalui aplikasi *Blynk* pada smartphone, saat unit pengontrol suhu diaktifkan, nilai suhu otomatis muncul

pada *Blynk* beserta kelembapan yang terbaca sensor. Sistem menggunakan setpoint 30–40 °C, ditandai dengan indikator lampu pemanas yang menyala, serta indikator lampu kipas yang aktif ketika diperlukan untuk menurunkan suhu. Penelitian ini menggunakan objek tempe seberat 200 gr dengan campuran ragi 1 gr.

3.2 Sampel Proses Fermentasi Tempe.

Gambar 9 menunjukkan pengujian fermentasi tempe yang dilakukan menggunakan tiga sampel. Sampel pertama merupakan proses fermentasi yang ditempatkan di dalam alat inkubator dengan rentang suhu 30°C–40°C sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sampel kedua berupa kedelai yang telah diberi ragi dan ditempatkan pada suhu ruang tertutup, sedangkan sampel ketiga berada pada kondisi suhu ruang terbuka.



Gambar 9. Kondisi Kedelai yang Sudah Diberi Ragi

Ketika suhu 30°C lampu akan menyala untuk menaikkan suhu dan ketika suhu 35°C lampu mati dan kipas akan menyala untuk menurunkan suhu tempe. Tempe yang berada pada alat berhasil menjadi tempe yang sempurna selama 26 jam. Tempe pada ruang tertutup berhasil menjadi tempe yang sempurna pada 36 jam, dan tempe pada ruang terbuka mengalami kegagalan yaitu jamur tidak tumbuh sempurna pada 32 jam dan bertahap mengalami biji kedelai kering dan jamur gagal tumbuh pada 34 jam.

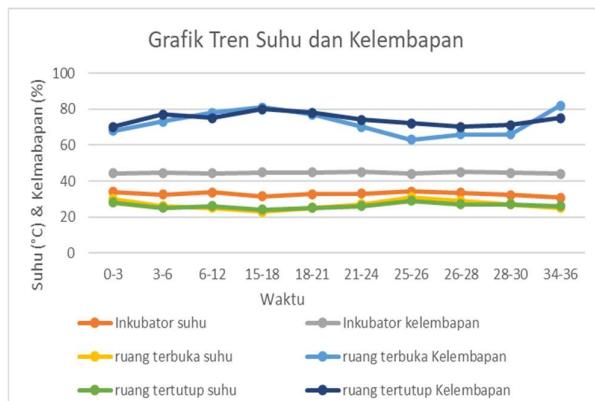
3.3 Proses Pengujian Fermentasi Tempe

Tabel 1. Tahap Proses Fermentasi Tempe

No	Waktu	Suhu 30-35°C dan kelembapan 44-45%	Suhu Ruang Tertutup	Suhu Ruang Terbuka
1	0-3	Banyak Berembun	Berembun Sedikit	Berembun Sedikit
2	3-6	Berembun Dan Tumbuh Sedikit Jamu	Berembun Merata	Berembun Merata
3	6-12	Jamur Mulai Tumbuh Sebagian	Koloni Jamur Mulai Tumbuh	Koloni Jamur Mulai Tumbuh
4	15-18	Jamur Mulai Tumbuh Sebagian	Jamur Mulai Tumbuh Sebagian	Koloni Jamur Mulai Tumbuh
5	18-21	Jamur Tempe Memenuhi Tempe Namun	Jamur Mulai Tumbuh Sebagian	Koloni Jamur Mulai Tumbuh

		Belum Sempurna		
6	21-24	Jamur Tempe Memenuhi Tempe Dengan Sempurna	Jamur Memenuhi Tempe Sebagian	Tumbuh Koloni Jamur
7	25-26	Jamur Memenuhi Tempe Dengan Sempurna	Jamur Memenuhi Tempe Sebagian	Jamur Memenuhi Tempe Sebagian
8	26-28		Jamur Memenuhi Tempe Sebagian	Jamur Memenuhi Tempe Sebagian
9	28-30		Jamur Memenuhi Tempe Sebagian	Jamur Tempe Memenuhi Tempe Dengan Sempurna
10	34-36		Jamur Tempe Memenuhi Tempe Dengan Sempurna	Berjanur Disertai Kedelai Mengering Sebagian

3.4. Grafik Tren Suhu dan Kelembapan



Gambar 10. Grafik Tren Suhu dan Kelembapan

Gambar 10 merupakan grafik tren suhu dan kelembapan. Dari Grafik tersebut, pengamatan dilakukan selama sekitar 36 jam. Suhu inkubator memiliki rata-rata 32,78 °C dengan deviasi standar 1,08 °C, menunjukkan kondisi yang relatif stabil selama fermentasi. Kelembapan inkubator juga cenderung konstan dengan rata-rata 44,54% dan deviasi 0,35%. Suhu ruang terbuka rata-rata sebesar 26,80 °C dengan variasi lebih besar ($\pm 2,53$ °C), sedangkan kelembapannya mencapai 72,40%. Pada ruang tertutup, suhu rata-rata tercatat 26,30 °C dengan deviasi 1,49 °C dan kelembapan rata-rata 74,20%. Dari data tersebut suhu dan kelembapan pada inkubator lebih stabil dan dapat dikontrol sesuai keinginan, namun untuk suhu ruang terbuka dan ruangan tutup masih cenderung fluktuatif sesuai kondisi cuaca pada saat itu.

3.5 Tempe yang Sudah di Fementasi

Tabel 2. Hasil Akhir Pertumbuhan Jamur Pada Kedelai

Tempe pada Inkubator	Tempe suhu ruang tertutup	Tempe suhu ruang terbuka
26 jam	36 jam	36 jam



4. PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

Berdasarkan hasil survei dan wawancara yang dilaksanakan pada pabrik rumahan, biasanya pabrik tempe dapat menghasilkan produk tempe yang cukup banyak setiap harinya. Dalam satu hari kerja unit usaha ini mampu memproduksi hingga 1.520 potong tempe. Kapasitas ini menunjukkan skala yang cukup aktif.

Proses fermentasi pada unit usaha ini dilakukan dengan cara tradisional dengan memanfaatkan suhu dan kelembapan secara alami. Masalah yang sering muncul bahwa kondisi tempe yang tidak bertahan lama setelah dibeli dan kalitas yang kurang baik yang disebabkan cuaca yang tidak menentu. Menurut [22] Dengan integrasi *Internet of Things* (IoT), proses pembuatan tempe dapat dipercepat hanya sekitar 29 jam, dibandingkan fermentasi tradisional yang memerlukan hingga 48 jam.

Selain itu besar kemungkinan terjadinya produk cacat yang disebabkan inkonsistensi cuaca. Hal tersebut yang dapat memicu peningkatan pemborosan atau limbah pada pangan (*food loss waste*). Perkembangan teknologi dapat mengubah rantai pasokan biasa menjadi rantai pasokan cerdas yang dapat diadopsi untuk mengurangi limbah makanan [21]. Pembuatan inkubator berbasis IoT memungkinkan kita dapat mengatur suhu dan kelembapan pada proses fermentasi berjalan cukup stabil sehingga perubahan suhu dan kelembapan yang disebabkan oleh perubahan cuaca yang tidak menentu dapat di tanggulangi.

Selain itu juga suhu dan kelembapan yang ada di alat inkubator tersebut dapat di pantau secara *real time* melalui aplikasi monitoring, sehingga bila terjadi kegagalan *logic on/off* pada *relay* yang menyebabkan tingkat suhu dan kelembapan pada alat tersebut tidak sesuai kita bisa mengetahuinya dan bila itu terjadi kita bisa melakukan *on/off* manual dengan menekan *button switch on/off* yang ada pada aplikasi. Pada aplikasi terdapat dua *button* yang memiliki fungsi dan peruntukan masing-masing, yang

pertama untuk *button* yang terhubung dengan *relay* yang menghubungkan aliran listrik dengan lampu lalu yang kedua *button* yang terhubung dengan *relay* yang menghubungkan aliran listrik dengan kipas.

Selain itu penambahan nampakan berisi air pada inkubator ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat kelembapan pada ruang inkubator. Dengan tingkat kelembapan yang tidak rendah dapat mempercepat tumbuhnya jamur tempe.

4.2. Pengujian Proses Fermentasi Tempe

Gambar 2.2 menunjukkan kondisi akhir tempe yang di fermentasi menggunakan alat, tanpa alat di suhu ruang tertutup dan tanpa alat di suhu ruang terbuka. Fermentasi tempe menggunakan alat lebih cepat 11 jam daripada proses tradisional atau suhu ruang. Dengan meminimalkan produk cacat karena suhu dan kelembapan dapat dipantau secara *real time* dan suhu pada alat tersebut cenderung stabil disuhu 30-35°C. Dengan kondisi tersebut pertumbuhan jamur cenderung lebih optimal dan dibantu dengan tingkat kelembapan yang cukup stabil diangkat 44-45%. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, Dimana stabilitas suhu dan kelembapan berperan signifikan dalam mempercepat proses fermentasi tempe dibandingkan metode tradisional yang bergantung pada kondisi lingkungan [23]. Namun, penelitian terdahulu tersebut lebih menitikberatkan pada aspek optimasi proses dan kualitas produk, tanpa mengaitkannya secara eksplisit dengan dampak terhadap *Food Loss and Waste* (FLW).

Berbeda dengan penelitian terdahulu umumnya hanya menampilkan data suhu dan kelembapan secara pasif [19] tanpa mekanisme umpan balik otomatis untuk menstabilkan kondisi fermentasi. Akibatnya, meskipun produsen memperoleh informasi kondisi lingkungan, risiko kegagalan fermentasi akibat fluktuasi suhu masih relatif tinggi.

Dalam pengujian pada penelitian ini, fermentasi tempe pada ruang tertutup dengan ruang terbuka dengan selisih 8 jam. Hal itu disebakan kondisi pada ruang tertutup dengan satu ventilasi lebih konsisten terhadap suhu dan kelembapan sehingga pertumbuhan jamur dapat tumbuh sempurna. Namun pada ruangan tertutup tidak menutup kemungkinan akan terpengaruh oleh kondisi iklim dan cuaca yang ada diluar. Sehingga nantinya mempengaruhi bagaimana suhu dan kelembapan yang ada pada ruangan tersebut.

Kondisi tempe pada ruang terbuka mengalami kegagalan atau produk cacat disebabkan suhu dan kelembapan pada ruang terbuka sangat tidak stabil dimana apabila suhu terlalu panas mengakibatkan jamur tidak dapat berkembang melainkan permukaan tempe akan kering dan lama kelamaan akan berlendir. Hal itu sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh setiawan [14] dimana terdapat kerentanan fermentasi tradisional terhadap kondisi lingkungan. Selain itu pada ruangan terbuka lebih rentan terkena bakteri jahat, sehingga mengurangi kehigenisan dari produk tersebut. Dari beberapa kerentanan itu sehingga menyebabkan cacat produksi, dan mengakibatkan produk tidak layak jual dan menyebabkan kerugian bagi produsen dan mengakibatkan tingginya limbah pangan yang dihasilkan. Sehingga perbedaan antara penelitian terdahulu, dimana penelitian ini menyajikan perbandingan kuantitatif pada tiga

skenario fermentasi yang menegaskan efektivitas pendekatan IoT dalam menekan potensi *Food Loss and Waste* (FLW)

Dengan demikian, dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini berkontribusi dengan mengembangkan penerapan IoT pada fermentasi pangan dari sistem monitoring pasif menjadi kontrol fermentasi *real-time* pada skala UMKM. Dimana Berbeda dengan studi sebelumnya, temuan menunjukkan bahwa stabilitas fermentasi berbasis IoT berfungsi sebagai *critical control point* dalam pencegahan *Food Loss and Waste* (FLW) pada tahap produksi. Pengujian tiga skenario fermentasi membuktikan adanya hubungan kausal antara pengendalian lingkungan, percepatan fermentasi, konsistensi kualitas tempe, dan penurunan potensi produk cacat.

Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menegaskan bahwa penerapan IoT pada titik kritis produksi pangan berpotensi signifikan menekan kehilangan pangan [10], [24]. Namun dalam penelitian ini mempersempit konteks tersebut pada fermentasi tempe sebagai tahap hulu rantai pasok UMKM. Dengan demikian, penelitian ini menutup kekosongan kajian yang mengaitkan langsung fermentasi tempe berbasis IoT dengan strategi preventif pengurangan FLW. Dalam penelitian merupakan studi yang masih jarang untuk mengintegrasikan kontrol fermentasi *real-time* berbasis IoT sebagai strategi preventif FLW pada tahap hulu rantai pasok pangan UMKM, bukan hanya sebagai alat optimasi proses produksi.

Kemudian hasil ini menempatkan penelitian pada posisi yang lebih spesifik yaitu sebagai studi yang menjembatani aspek teknis IoT dengan isu keberlanjutan pangan dan efisiensi rantai pasok pada skala UMKM.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian, dapat ditarik kesimpulan utama yaitu, solusi IoT yang diusulkan merupakan jawaban atas ketidakstabilan fermentasi sebagai penyebab utama FLW, sekaligus menempatkan temuan ini sebagai kontribusi ilmiah dan strategis dalam pengurangan FLW pada skala UMKM. Sekaligus memperluas literatur IoT-FLW melalui bukti empiris pada konteks fermentasi tempe yang masih jarang dikaji.

Implementasi teknologi IoT berupa alat monitoring dan kontrol suhu dan kelembapan pada fermentasi tempe yang di rancang mampu mempercepat proses fermentasi tempe menjadi sempurna dalam waktu 26 jam, lebih cepat 11 jam dibanding fermentasi secara tradisional. Hal itu disebabkan oleh kontrol suhu dan kelembapan yang stabil terbukti mendukung pertumbuhan jamur tempe secara merata. Sehingga produksi tempe dapat dilakukan secara konsisten dan efisien tidak lagi terpengaruh oleh perubahan iklim dan cuaca yang menyebabkan suhu dan kelembapan menjadi tidak stabil.

Lalu monitoring suhu dan kelembapan dapat dilakukan dimana saja dengan syarat memiliki akses internet sehingga lebih fleksible. Potensi limbah pangan akibat kegagalan fermentasi dapat diminimalkan dan mendukung keberlanjutan proses produksi bagi pelaku usaha. Dengan minimnya kegagalan fermentasi akan berimbang kepada berkurangnya kerugian yang

disebabkan oleh gagal produksi atau cacat produksi yang menyebabkan barang tidak layak jual.

Selain itu juga dengan lebih cepatnya fermentasi tempe yang dilakukan dengan alat ini maka hasil produksi dapat lebih meningkat. Dengan meningkatnya hasil produksi maka akan meningkatkan keuntungan bagi produsen.

Dari beberapa aspek tersebut semuanya bermuara pada bagaimana mengurangi hal-hal yang mengakibatkan kerugian dan meningkatkan keuntungan sehingga para pelaku usaha dapat terus tumbuh dan *survive* menjalankan usaha tersebut. Selain itu juga bagaimana pemanfaatan teknologi tidak selalu pada industri besar namun pada industri kecil dan menengah juga perlu diterapkan. Sehingga pemerataan teknologi dapat tercapai.

Beberapa keuntungan yang kita dapatkan dari alat ini juga memiliki kekurangan, salah satunya bagaimana akses internet yang stabil dan sumber energi berupa listrik. Dalam alat ini belum di fasilitasi dengan sumber energi cadangan yang memungkinkan bila mana sumber energi utama tidak bisa digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Tian, B. A. Engel, H. Qian, E. Hua, S. Sun, and Y. Wang, "Will reaching the maximum achievable yield potential meet future global food demand?," *J Clean Prod*, vol. 294, Apr. 2021, doi: [10.1016/j.jclepro.2021.126285](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126285).
- [2] "Tempe: Persembahan Indonesia untuk Dunia," 2012. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [3] E. Indra, A. Fauzi, F. Cahyadi Widharto, S. Indah Pangesti, T. Karuna Ernesto, and Y. Billy Harland, "Analisis Pengaruh dan Dampak Penggunaan Internet of Things pada Supply Chain di Food and Beverages Industry," vol. 2, no. 2, 2024, doi: [10.38035/jgit.v2i2](https://doi.org/10.38035/jgit.v2i2).
- [4] A. F. Hidayat and S. Abdul Muttalib, "Analisis Nilai Tambang Produk Agroindustri Tempe Di Kecamatan Sukamulia, Kabupaten Lombok Timur," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 8, no. 2, pp. 230–235, Sep. 2020, doi: [10.29303/jrpb.v8i2.190](https://doi.org/10.29303/jrpb.v8i2.190).
- [5] "Inkubator Tempe Berbasis IoT."
- [6] H. Azizah Al Faruq, M. Hairul Bahri, A. Rodi, and S. Vhani Eka Saputra, "SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan Penerapan teknologi tepat guna alat pengatur suhu otomatis pada proses fermentasi kedelai bagi usaha pembuatan tempe di kampung Pagah kabupaten Jember," vol. 8, no. 2, 2024.
- [7] S. P. Maghfira, B. Suprianto, L. Rakhmawati, and R. Firmansyah, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe 257 Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembaban Berbasis IOT dengan Fuzzy Logic untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe."
- [8] M. Perwita Sari and N. Rhezza Pratama, "Application Internet of Things (IoT) in Healthcare to Optimize Waiting Time Using the Business Process Reengineering (BPR) Approach."
- [9] H. Z. Sinaga and A. A. Waskita, "Optimisasi Desain Jaringan IoT untuk Pelacakan Produk di Rantai Pasok Pertanian: Tinjauan Literatur Sistematis," vol. 3, no. 1, 2025.
- [10] T. P. da Costa *et al.*, "A Systematic Review of Real-Time Monitoring Technologies and Its Potential Application to Reduce Food Loss and Waste: Key Elements of Food Supply Chains and IoT Technologies," Jan. 01, 2023, *MDPI*. doi: [10.3390/su15010614](https://doi.org/10.3390/su15010614).
- [11] C. Trevisan and M. Formentini, "Digital Technologies for Food Loss and Waste Prevention and Reduction in Agri-Food Supply Chains: A Systematic Literature Review and Research Agenda," *IEEE Trans Eng Manag*, vol. 71, pp. 12326–12345, 2024, doi: [10.1109/TEM.2023.3273110](https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3273110).
- [12] M. H. Hanis and Y. Fernando, "Smart Logistics Solutions For Reducing Food Waste: A Case Of D Nipah Catering," *International Journal of Industrial Management*, vol. 18, no. 1, pp. 11–21, Mar. 2024, doi: [10.1528/ijim.18.1.2024.10404](https://doi.org/10.1528/ijim.18.1.2024.10404).
- [13] M. Susantok, A. U. A. Wibowo, M. Akbar, and Rahul, "Peningkatan Akurasi Sistem Pemantauan Suhu Dan Kelembapan Pada Laboratorium Pengujian Benih Tanaman Menggunakan Inversi Regresi Linier," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 153–164, Feb. 2025, doi: [10.25126/itik.2025129083](https://doi.org/10.25126/itik.2025129083).
- [14] A. Setiawan *et al.*, "Pengendali Suhu Fermentasi Tempe Berbasis NodeMCU dan Sensor DHT 22," 2024.
- [15] A.-L. Uribe-Hurtado, M. Orozco-Alzate, N. Lopes, and B. Ribeiro, "GPU-based fast clustering via K-Centres and k-NN mode seeking for geospatial industry applications," *Comput Ind*, vol. 122, p. 103260, Nov. 2020, doi: [10.1016/j.compind.2020.103260](https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103260).
- [16] A. Poonia, S. Ghosh, A. Ghosh, S. B. Nath, S. K. Ghosh, and R. Buyya, "CONFRONT: Cloud-fog-dew based monitoring framework for COVID-19 management," *Internet of Things*, vol. 16, p. 100459, Dec. 2021, doi: [10.1016/j.iot.2021.100459](https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100459).
- [17] A. Osa Maulana Sukarno, "Sistem Monitoring Berbasis Internet Of Things Pada Proses Fermentasi Bawang Hitam Terkait Dengan Pengukuran Suhu Kelembapan Dan Berat," *Jurnal Teknik SILITEK*, vol. 05, no. 01, 2025.
- [18] G. Lanfranchi, A. Crupi, and F. Cesaroni, "Internet of Things (IoT) and the Environmental Sustainability: A Literature Review and Recommendations for Future Research," 2025, *John Wiley and Sons Ltd*. doi: [10.1002/csr.70098](https://doi.org/10.1002/csr.70098).
- [19] D. Wijanarko, S. Hasanah, J. T. Informasi, and P. N. Jember, "Monitoring Suhu Dan Kelembaban Menggunakan Sms Gateway Pada Proses Fermentasi Tempe Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler."
- [20] I. Mekongga *et al.*, "Prototipe dengan Sistem IoT Pada Pengaturan Suhu dan Kelembaban Pada Permentasi Tempe IoT-Based Prototype for Temperature and Humidity Control in Tempe Fermentation," vol. 8, no. 2, 2023, doi: [10.31851/ampere](https://doi.org/10.31851/ampere).
- [21] S. Ahmadzadeh, T. Ajmal, R. Ramanathan, and Y. Duan, "A Comprehensive Review on Food Waste

- Reduction Based on IoT and Big Data Technologies,” Feb. 01, 2023, *MDPI*. doi: [10.3390/su15043482](https://doi.org/10.3390/su15043482).
- [22] G. M. Aji, A. F. Pratiwi, and S. W. Utami, “Rancang Bangun Inkubator Tempe Untuk Mempercepat Waktu Fermentasi,” *Agroteknika*, vol. 7, no. 4, pp. 488–497, Dec. 2024, doi: [10.55043/agroteknika.v7i4.321](https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i4.321).
- [23] S. P. Maghfira, B. Suprianto, L. Rakhmawati, and R. Firmansyah, “Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan Fuzzy *Logic* untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe 257 Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan Fuzzy *Logic* untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe.”
- [24] A. Poonia, S. Ghosh, A. Ghosh, S. B. Nath, S. K. Ghosh, and R. Buyya, “CONFRONT: *Cloud-fog-dew* based monitoring framework for COVID-19 management,” *Internet of Things*, vol. 16, p. 100459, Dec. 2021, doi: [10.1016/j.iot.2021.100459](https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100459).

Singkatan dan Akronim :

IoT : Internet of Things

FLW :Food lost waste

BIODATA PENULIS



Mutia Perwita Sari

Dosen Fakultas Teknik Lingkungan, Universitas Hamzanwadi, selain mengajar pada program studi Teknik lingkungan, mengajar program studi Teknik infomatika. Mendalami bidang ilmu manajemen industri, *internet of things* dan manajemen limbah industry, telah menghasilkan beberapa karya penelitian dengan topik diantaranya: Internet of Things, Maintenance Manajemen, Strategic Management.

Shofwatunnida Septarini



Dosen Fakultas Teknik Lingkungan, Universitas Hamzanwadi. Mendalami bidang ilmu manajemen limbah: manajemen limbah.