

Optimasi Proses Fermentasi Tempe Berbasis IoT dalam Mengurangi Produk Cacat Menggunakan Pendekatan *Lean Manufacturing* dan *Value Stream Mapping*

Mutia Perwita Sari^{1*}, Shofwatunnida' Septarini²

^{1,2}Program Studi Teknik Komputer, Universitas Hamzanwadi

*mutia.perwitasari@hamzawadi.ac.id

Abstrak

Tempe merupakan makanan tradisional berbasis kedelai yang memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan gizi dan konsumsi harian masyarakat Indonesia. Namun, proses fermentasi tempe yang masih dilakukan secara konvensional sering menghadapi kendala terkait ketidakstabilan suhu dan kelembapan selama proses pengolahan, sehingga berpotensi menghasilkan produk cacat yang tidak layak konsumsi. Kondisi ini mendorong terjadinya peningkatan *Food Loss and Waste* (FLW), yang tidak hanya merugikan pelaku usaha dari sisi ekonomi, tetapi juga dapat menurunkan kapasitas produksi dan memberikan dampak negatif terhadap aspek keberlanjutan lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan inovasi teknologi yang mampu mengendalikan parameter fermentasi secara optimal dan konsisten selama proses berlangsung. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi tingkat produk cacat tempe dan meminimalkan FLW melalui perancangan dan implementasi alat fermentasi berbasis *Internet Of Things* (IoT). Metodologi penelitian meliputi observasi langsung terhadap proses produksi tempe, penyusunan *Value Stream Mapping* (VSM) *As-Is* untuk menganalisis aliran proses dan mengidentifikasi pemborosan, perancangan prototipe alat IoT, pengujian eksperimen pada tiga variasi kondisi fermentasi (ruang terbuka, ruang tertutup, dan inkubator IoT), serta penyusunan VSM *To-Be* untuk mengukur peningkatan efisiensi proses setelah penerapan alat. Hasil implementasi IoT mampu menjaga kelembapan dan suhu 30°C-40°C secara otomatis dan mampu mempersingkat waktu fermentasi yang semula 55 jam menjadi 26 jam.

Kata kunci: Food Loss and waste, Fermentasi Tempe, IoT, Lean Manfucture, Value Stream Mapping.

Abstract

Tempe is a traditional soybean-based food that plays an important role in meeting the nutritional needs and daily consumption of Indonesian society. However, the fermentation process, which is still commonly carried out using conventional methods, often encounters challenges related to unstable temperature and humidity levels during processing. These fluctuations can lead to *defective* products that are unsuitable for consumption. Such conditions contribute to an increase in Food Loss and Waste (FLW), which not only results in economic losses for producers but also reduces production capacity and negatively impacts environmental sustainability. Therefore, *technological* innovation is needed to control fermentation parameters optimally and consistently throughout the process. This study aims to reduce the rate of *defective* tempe products and minimize FLW through the design and implementation of an *Internet Of Things* (IoT)-based fermentation device. The research methodology includes direct observation of the tempe production process, the development of an *As-Is Value Stream Mapping* (VSM) to analyze process flow and identify waste, the design of an IoT prototype device, experimental testing under three fermentation conditions (open space, closed room, and IoT-based incubator), and the creation of a *To-Be* VSM to measure process efficiency improvements after the tool's implementation. The results show that the IoT system is capable of automatically maintaining temperature and humidity within the range of 30°C–40°C and successfully reducing the fermentation time from 55 hours to 26 hours.

Keywords: IoT, Tempe fermentation, Value Stream Mapping, Lean Manufacturing, Food Loss and Waste.

1. Pendahuluan

Tempe merupakan salah satu produk pangan fermentasi berbasis kedelai yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia karena nilai gizi yang tinggi dan harga yang terjangkau. Proses fermentasi tempe sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, khususnya stabilitas suhu dan kelembapan ruang fermentasi [1]. Pada praktik produksi tradisional, parameter fermentasi umumnya tidak dapat dikontrol secara tepat karena bergantung pada kondisi cuaca dan lingkungan fisik [2]. Ketidakstabilan kondisi tersebut dapat mengakibatkan pertumbuhan jamur *Rhizopus* tidak optimal, sehingga produk tempe berpotensi mengalami cacat kualitas dan tidak layak jual [3]. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya merugikan produsen dari aspek ekonomi, namun juga meningkatkan *Food Lost and Waste* (FLW), yang sekaligus memperbesar kontribusi terhadap pemborosan sumber daya, jejak karbon, dan penurunan produktivitas industri pangan skala UMKM [4]. Perkembangan teknologi *Internet Of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui pemantauan dan pengaturan parameter fermentasi secara otomatis dan *real time* [5]. Selain itu, pendekatan *Lean Manufacturing* dengan alat

analisis *Value Stream Mapping* (VSM) digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas yang tidak bernilai tambah (*Non-Value Added*) serta merancang perbaikan proses melalui pemetaan kondisi awal VSM *As-Is* dan rancangan proses perbaikan VSM *To-Be*[6]. Pentingnya dilakukan penelitian ini sebab proses fermentasi tempe merupakan tahapan kritis yang sangat menentukan kualitas akhir produk. Berdasarkan kondisi aktual dilapangan, sebagian besar produsen tempe skala UMKM masih mengandalkan metode tradisional yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan sekitar. Ketidakmampuan produsen dalam mengandalkan parameter tersebut secara konsisten sering menyebabkan produk yang dihasilkan tidak baik bahkan cacat yang tidak layak jual. Selain itu dapat menimbulkan *Food Loss and Waste* (FLW) pada industri pangan. FLW tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi bagi pelaku usaha, tetapi juga berdampak pada pemborosan sumber daya, peningkatan emisi karbon, dan menurunnya keberlanjutan industri pangan lokal. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan inovatif yang tidak hanya mampu menstabilkan kondisi fermentasi melalui pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT), tetapi juga mengoptimalkan alur proses produksi secara menyeluruh melalui

pendekatan Lean Manufacturing guna menekan cacat produk, mempercepat waktu fermentasi, serta mengurangi FLW secara signifikan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait yang peneliti gunakan dalam mempelajari monitoring dan pengendalian suhu dan kelembapan sebagai berikut :

1. Penelitian yang berjudul “Implementasi *Internet Of Things* (Iot) Monitoring Dan Pengatur Suhu Ruang Fermentasi Tempe Berbasis Mikrokontroler”. Hasil penelitian tersebut membahas tempe menjadi salah satu makanan yang memiliki nilai gizi yang baik yang dibuat dengan memerlukan kedelai sebagai bahan baku utama yang diolah menggunakan cara tradisional. Namun pada proses pembuatan kedelai menjadi tempe pada tahap fermentasi membutuhkan suhu 20°Celsius sampai dengan 37 °Celsius dengan durasi simpan selama 18 –36 jam. Pemenuhan syarat penyimpanan inilah yang menjadi salah satu faktor penentu baik atau tidaknya hasil produksi tempe tersebut, karena jamur *Rhizopus sp.* tersebut dapat tumbuh pada rentang suhu tersebut. Oleh sebab itu peneliti merancang prototipe alat yang dapat mendeteksi suhu dan kelembapan di ruangan pembuatan tempe, salah satunya dengan memanfaatkan internet sehingga dapat dilakukan monitoring suhu ruangan fermentasi tempe dari jarak jauh dan secara berkala. dengan menggunakan sensor suhu DHT11. Sistem yang dibuat diharapkan dapat mengatur suhu menggunakan kipas dan lampu yang dapat menyesuaikan suhu ruangan. Sistem yang dibangun nantinya akan dikendalikan dengan pengendali utama berupa board nodemcu yang dapat terkoneksi dengan internet [7]
2. Penelitian yang berjudul “inkubator tempe berbasis IOT” penelitian ini berhasil merancang inkubator dalam fermentasi tempe. dimana proses fermentasi dapat di evaluasi dan di monitoring secara *real time*. Umumnya memerlukan waktu empat hari dari proses pembuatan tempe hingga proses pemasarannya dapat dilakukan. Dari waktu empat hari tersebut, waktu dua hari digunakan untuk pertumbuhan jamur tempe (proses fermentasi). Dari lamanya waktu pembuatan tempe khususnya proses fermentasi. inkubator tempe

- berbasis IoT ini dapat mempercepat proses fermentasi tempe selama 24 jam dengan suhu optimalnya berada pada 30°C sampai 40°. Dengan menggunakan ESP8266 sebagai prosesor pengolah program yang akan dijalankan, sensor DHT 11 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) untuk mendeteksi cahaya, kipas untuk mengeluarkan udara dari inkubator, bohlam sebagai komponen pemanas, dan smartphone untuk memonitori perkembangan proses fermentasi tempe dengan bantuan aplikasi *blynk* [8].
3. Penelitian yang berjudul “Monitoring Suhu Dan Kelembaban Menggunakan Sms *Gateway* Pada Proses Fermentasi Tempe Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler” permasalahan yang ada dalam penelitian tersebut adalah perubahan cuaca yang tidak stabil mempengaruhi kualitas tempe. Sehingga peneliti merancang alat yang dapat mendeteksi suhu dan kelembaban. Alat yang dirancang menggunakan sistem Mikrokontroler Arduino UNO yang mempunyai input berbentuk sensor *sht11* sebagai pengontrol suhu dan kelembaban, menampilkannya pada LCD dan memonitoring melalui SMS *Gateway*. Hasil eksperimen fermentasi tempe menggunakan alat dapat menghasilkan tempe yang baik dan lebih cepat dibandingkan menggunakan cara tradisional [9]
 4. Penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Smart Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Aplikasi Android” penelitian ini membahas pentingnya kontrol suhu dan kelembaban pada tanaman hidroponik secara real time. Cara kerja dari sistem ini yaitu ketika sensor mendeteksi derajat keasaman (pH) dan Nutrisi sesuai dengan batas yang telah ditentukan, pompa akan mengeluarkan larutan pH dan Nutrisi dengan ketentuan pH 6-7 dan Nutrisi Pembuatan alat. Sistem dipasang mikrokontroler yang terhubung ke internet yang kemudian akan mengirim data mengenai kondisi larutan ke aplikasi android secara realtime. Sistem ini dapat membantu petani kebun untuk menghilangkan masa pemberian pH dan nutrisi yang harus dilakukan secara manual dan berkala, karena pemberian pH dan nutrisi dapat bekerja secara otomatis dan sekaligus dapat dipantau kondisinya dari aplikasi android [10]

5. Penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Berbasis IOT dengan *Fuzzy Logic* untuk Optimasi Proses Fermentasi pada Pengolahan Tempe” hasil penelitian berhasil mengembangkan sistem inkubator cerdas berbasis *Internet Of Things* (IoT) yang mengontrol suhu dan kelembapan secara otomatis menggunakan sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, logika *fuzzy*, dan aplikasi *Blynk* untuk pemantauan *real time*. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menjaga kestabilan lingkungan dan menghasilkan tempe dengan tekstur dan kepadatan yang baik, sehingga mendukung efisiensi serta konsistensi produksi bagi produsen tempe skala kecil hingga menengah [11]
6. Penelitian yang berjudul “Sistem Monitoring Pengering Sepatu Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT)” penelitian ini membahas alat sistem monitoring pengering sepatu otomatis berbasis IoT dengan memanfaatkan NodeMCU ESP8266 sebagai sistem kontrol yang dapat terhubung dengan jaringan wifi sehingga proses monitoring sepatu dapat dipantau dari jarak jauh secara *real-time* melalui website. Hasil uji

alat yang di dapatkan dengan waktu pengeringan untuk jenis sepatu sneakers 60 menit dengan suhu 47.10°C, sepatu pantofel 70 menit dengan suhu 47.20°C dan sepatu kets 120 menit dengan suhu yang sudah ditargetkan yaitu kurang dari atau sama dengan 47.40°C [12].

2.2 Landasan Teori

1. *Internet Of Things* (IoT)

IoT merupakan jaringan benda fisik yang dibekali sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain sehingga dapat saling berkomunikasi serta bertukar data melalui internet dengan perangkat atau sistem lainnya [13] [14].

2. *Value Stream Mapping* (VSM)

VSM merupakan alat utama dalam penerapan *Lean Manufacturing* yang digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan aliran material serta informasi pada proses produksi. VSM memetakan seluruh tahapan proses dari awal hingga akhir untuk mengidentifikasi aktivitas bernilai tambah dan tidak bernilai tambah. Melalui analisis peta aliran nilai tersebut, perusahaan dapat menemukan sumber pemborosan dan merancang strategi perbaikan guna meningkatkan efisiensi operasional[15].

3. *Food lost waste* (FLW)

Food Lost and Waste (FLW) merupakan fenomena hilangnya atau terbuangnya bahan pangan pada berbagai tahap dalam rantai pasok, yang memberikan dampak merugikan bagi aspek lingkungan, ekonomi, maupun sosial. FLW tidak hanya menimbulkan kerugian finansial yang besar, tetapi juga meningkatkan emisi karbon dan pemborosan penggunaan sumber daya. Pada industri pangan skala UMKM, termasuk produsen tempe, ketidakstabilan kondisi fermentasi sering memicu kegagalan produk dan menurunkan tingkat produktivitas. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penerapan teknologi modern untuk meminimalkan pemborosan dan meningkatkan keberlanjutan proses produksi[16], [17].

4. Fermentasi Tempe

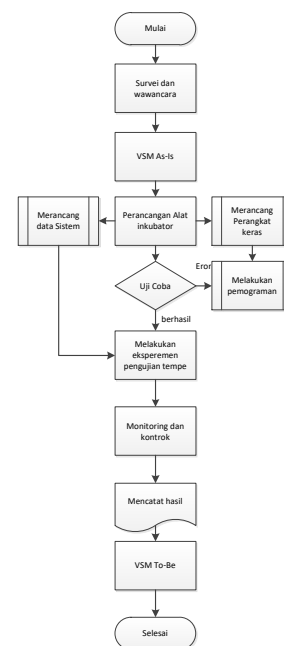
Fermentasi merupakan proses yang memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk menghasilkan metabolit primer dan sekunder dalam kondisi lingkungan yang terkontrol. Istilah fermentasi kerap dipakai untuk menggambarkan perubahan glukosa menjadi alkohol [18]. Kebanyakan proses pembuatan tempe dilakukan dengan proses tradisional, Dimana Ketika cuaca mendung tempe biasanya di tutup menggunakan penutup agar suhu tempe tetap stabil. Tetapi yang menjadi masalah adalah produsen tidak mengetahui secara pasti suhu dan kelembapan yang tercipta, sehingga tidak

jarang proses fermentasi tempe tidak stabil atau mengalami produk cacat.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan pendekatan eksperimen. dengan model analisis *Value Stream Mapping (VSM)* yang terdiri dari observasi dan pengumpulan data awal, pemetaan proses *As-Is*, Dalam pemetaan tersebut, alur proses bisnis, dan waktu baku yang dibutuhkan untuk setiap aktivitas ditentukan. Waktu baku dicari menggunakan metode time study, dan identifikasi permasalahan dari proses *as-is*, kemudian melakukan Perancangan dan pembuatan alat fermentasi berbasis IoT berdasarkan masalah yang ada, eksperimen pengujian, pemetaan *VSM To-Be* dan penarikan kesimpulan. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

3.2 jenis dan sumber data

Sumber data yang digunakan adalah data primer. Data primer yaitu sumber yang langsung memberikan data kepada pengumpul data. Pada penelitian ini, sumber data primer didapatkan dari observasi, wawancara, dan pengujian praktis.

4. Hasil dan pembahasan

4.1 Hasil Perhitungan Waktu Standar

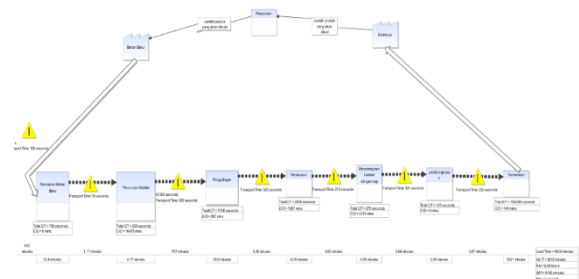
Waktu standar setiap proses dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Waktu Standar

Proses	Normal Time	Standar Time/ Detik
P1	126,32	132,96
P2	93,87	98,81
P3	174,41	183,58
P4	246,96	259,96
P5	66,57	70,07
P6	237,62	250,12
P7	300,83	316,66
P8	14800,17	15579,13
P9	260,72	274,44
P10	290,33	305,61
P11	1622,78	1708,18
P12	676,41	712,01
P13	859,43	904,66
P14	363,20	382,31
P15	1498,35	1577,21
P16	300,51	316,33
P17	3879,54	4083,73
P18	777,21	818,12
P19	261,35	275,10
P20	189322,04	199286,35
P21	74,45	78,36
P22	43,05	45,32
P23	141,86	149,32

4.2 Pemetaan Proses *As-Is*

Analisis proses *As-Is* merupakan bagian dari perencanaan perubahan. Data dikumpulkan dengan mengamati proses untuk memahami alur kerja dan waktu setiap proses. Proses pembuatan tempe menjadi kedelai saat ini dimodelkan dengan VSM. Aktivitas proses bisnis dipetakan kedalam beberapa jalur yang mewakili kategori proses. Proses *As-Is* dimulai dari penerimaan bahan baku kedelai kemudian melalui beberapa tahap produksi. Tahap pertama adalah persiapan bahan baku, tahap pencucian, tahap perendaman, tahap pengupasan, tahap perebusan, tahap pencampuran ragi, tahap pembungkusan dan fermentasi.



Gambar 2. Peta Aliran Proses *As-Is* Berdasarkan pemetaan VSM, *lead time* total proses mencapai lebih dari 4625 menit, dengan sebagian besar waktu terserap pada proses perendaman dan fermentasi. Selain itu, masih terdapat waste berupa waktu tunggu, transportasi antar proses, serta ketergantungan pada aktivitas manual. Kondisi ini menunjukkan bahwa alur produksi tempe terutama pada proses

fermentasi masih membutuhkan peningkatan efisiensi melalui pengendalian proses yang lebih baik, termasuk potensi penggunaan teknologi seperti IoT untuk mengurangi variabilitas proses dan menurunkan jumlah produk cacat. Peta Aliran Proses *As-Is* dapat dilihat pada Gambar 2

Peta Aliran Proses *As-Is* tepatnya pada proses fermentasi Tempe total waktu yang dihabisnya adalah 55,36 jam yang merupakan waktu terlama. Untuk meningkatkan proses yang terjadi pada saat fermentasi tempe, peneliti merancang proses *To-Be*.

4.3 Usulan Perbaikan Proses *As-Is*

4.3.1 Sumber Pemborosan dan dampak yang ditimbulkan

Jenis pemborosan dan dampak yang ditimbulkan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Sumber Pemborosan

Jenis Waste (Lean)	Sumber Pemborosan	Dampak Terhadap FLW
<i>Defect</i> (produk cacat)	- Fermentasi gagal di ruang terbuka (jamur tidak tumbuh, kedelai mengering). - Suhu & kelembapan tidak stabil. - Perubahan cuaca sulit diprediksi.	- Produk tidak layak jual. - Meningkatkan <i>Food Lost Waste</i> (FLW). - Kerugian biaya bahan baku.
<i>Waiting</i>	- Fermentasi tradisional memakan waktu hingga 55 jam. - Menunggu perubahan suhu secara alami.	- Siklus produksi lama. - Lead time meningkat.
<i>Oveprocessing</i>	- Penutupan manual berkali-kali saat cuaca berubah. - Pengaturan	- Pekerjaan tidak menambah nilai. - estimasi suhu tidak akurat →

Jenis Waste (Lean)	Sumber Pemborosan	Dampak Terhadap FLW
	ventilasi secara intuitif.	<i>defect</i> meningkat.
<i>Inventory</i>	-Batch kedelai menumpuk menunggu fermentasi selesai. - Produk cacat menambah stok tidak layak jual	Penumpukan barang. - Kemungkinan FLW meningkat

4.3.2 Usulan Perbaikan

Tabel 3. Usulan Perbaikan

Jenis Waste (Lean)	Usulan Perbaikan
<i>Defect</i> (produk cacat)	- Adopsi iot - Monitoring real time
<i>Waiting</i>	- Iot mempercepat fermentasi menjadi 26 jam. - Sistem alert <i>real-time</i> jika suhu tidak sesuai. - VSM Future State dengan waktu proses lebih pendek
<i>Oveprocessing</i>	-Otomatisasi on/off lampu & kipas dengan relay. - Penambahan nampan air untuk menjaga kelembapan stabil. - visual control dashboard suhu.
<i>Inventory</i>	-Waktu fermentasi lebih cepat aliran material lebih lancar. - Kanban produksi untuk mengontrol jumlah batch.

4.4 Perancangan Eksperimen

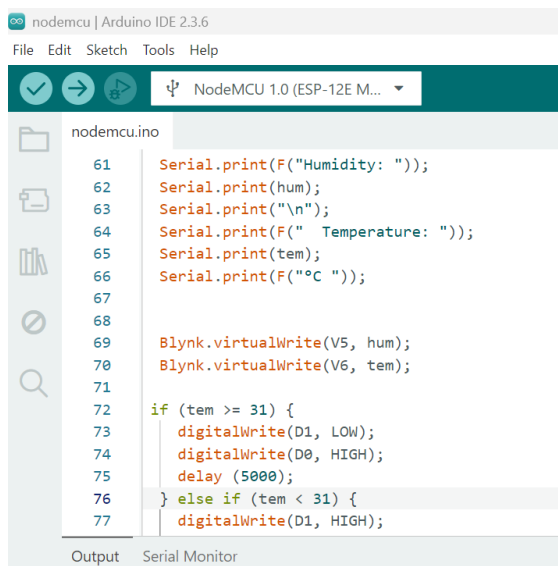
Penelitian ini menggunakan 3 buah kedelai yang sudah diberi ragi tempe yang terdiri dari beberapa jenis kapang *Rhizopus* yang nantinya digunakan dalam fermentasi tempe. Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen guna mengevaluasi penerapan *Internet Of Things* (IoT) dalam fermentasi kedelai menjadi tempe dengan mempertimbangkan kualitas tempe. Dalam penelitian ini dilakukan tiga eksperimen. Eksperimen pertama yaitu fermentasi tempe dilakukan pada suhu ruang

terbuka. eksperimen kedua yaitu dilakukan fermentasi tempe pada suhu ruang tertutup dengan satu ventilasi udara dan eksperimen ketiga dilakukan fermentasi tempe menggunakan alat inkubator yang terintegrasi menggunakan IoT.

4.4 Perancangan Alat

Perancangan inkubator diawali dengan pemilihan box yang berfungsi sebagai wadah fermentasi sekaligus tempat pemasangan komponen pengendali suhu dan kelembapan. Alat ini menggunakan Nodemcu sebagai mikrokontroler utama, sedangkan sensor DHT11 berperan untuk mengukur suhu dan kelembapan selama proses fermentasi tempe.

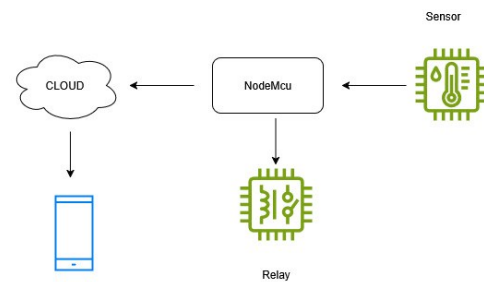
Sensor DHT11 dipilih karena mendukung interval pengambilan data minimal 1 menit, dengan karakteristik tegangan masukan dan konsumsi arus yang sebanding dengan DHT22. [19]



Gambar 3. Program NodeMcU

4.3.1 Alur Perancangan Data sistem

Data yang diterima oleh NodeMCU secara otomatis akan ditampilkan pada smartphone melalui aplikasi *Blynk* yang terhubung menggunakan jaringan internet. Gambar 3 memperlihatkan alur rancangan sistem, mulai dari pembacaan data oleh NodeMCU hingga informasi tersebut muncul pada smartphone



Gambar 4. Alur Perancangan Data System

Selain itu juga pada diagram tersebut melihat bagaimana mikrokontroler terhubung dengan relay sehingga *logic* otomatisasi dapat berjalan. Mikrokontroler akan mengirimkan data hasil olahan yang diterima dari sensor ke cloud secara *real time* sehingga pada aplikasi monitoring akan selalu terupdate datanya. Peingiriman data dari mikrokontroler ke cloud membutuhkan akses internet sehingga baik itu nodemcu atau smartphone yang sudah terinstall aplikasi *Blynk* sebagai aplikasi monitoring yang harus terhubung dengan internet.

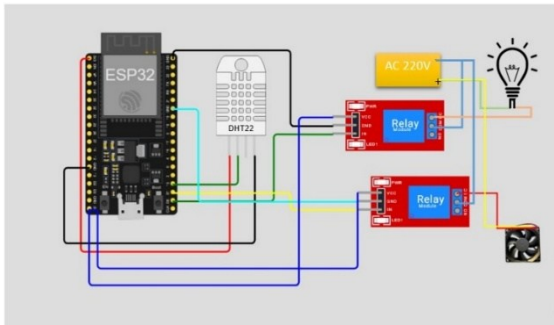
4.3.2 Cara Kerja Rangkaian Perangkat Keras

Energi listrik yang digunakan pada alat berasal dari daya listrik PLN yang kemudian digunakan untuk menghidupkan

DOI : 10.29408/jprinter.v3i2.33203

URL : <https://doi.org/10.29408/jprinter.v3i2.33203>

mikrokontroler, kipas DC dan lampu pijar. Pengaturan batas suhu dan kelembapan di atur didalam program yang sudah di atur setpointnya. Desain skema perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5. Skema Perangkat Keras

Alat tersebut bekerja dengan cara sensor mengirimkan pesan ke mikrokontroler. Pesan diolah dan disesuaikan dengan logika yang telah di *upload*, dalam kondisi tersebut, apabila suhu terdeteksi lebih dari 40°C, relay atau sakelar yang mengendalikan lampu pijar akan otomatis dimatikan. Ketika suhu ruang fermentasi melebihi ambang batas, lampu pemanas dihentikan dan relay yang mengaktifkan kipas akan bekerja untuk menurunkan serta menstabilkan suhu. Sebaliknya, jika sensor pada NodeMCU mendeteksi suhu di bawah 30°C, relay akan menyalakan lampu pijar sebagai pemanas.

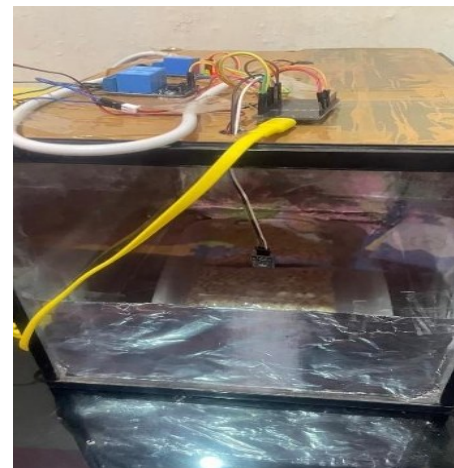
4.4 Prosedur pengujian

Pengujian alat dilaksanakan melalui beberapa tahap seperti menyiapkan perangkat yang diperlukan, mengatur pengendalian suhu dan kelembapan selama proses fermentasi, memantau serta mencatat

data hasil pengendalian suhu dan kelembapan lalu menganalisis data pada proses fermentasi tempe.

4.4.1 Pengujian Alat

Perangkat keras mikrokontroler yang telah dirakit dipasang pada boks ruang fermentasi tempe, sehingga memudahkan pemantauan kondisi suhu dan kelembapan di dalamnya. Selain itu juga memastikan akses internet pada mikrokontroler sudah terhubung.



Gambar 6. Box Inkubator Pengendali Suhu dan Kelembapan



Gambar 7. Tampilan Aplikasi Blynk


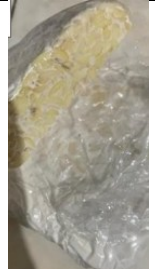
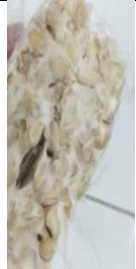
Pengujian alat dilakukan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Melalui aplikasi *Blynk* pada smartphone, ketika pengontrol suhu diaktifkan, data suhu dan kelembapan yang terbaca sensor langsung ditampilkan pada aplikasi. Sistem bekerja dengan setpoint 30–40 °C, yang ditunjukkan oleh menyala-matinya lampu pemanas, serta aktifnya kipas ketika suhu perlu diturunkan. Pada penelitian ini, digunakan sampel tempe seberat 200 gram dengan penambahan ragi sebanyak 1 gram

4.4.2 Pengujian Proses fermentasi Tempe

Gambar 6 merupakan pengujian fermentasi tempe menggunakan 3 sample. Sampel pertama adalah proses fermentasi yang diletakan di dalam alat inkubator dengan kisaran suhu 30°C-40°C yang sudah dirancang sebelumnya. Sampel kedua adalah kedelai yang sudah diberi ragi dan diletakan di suhu ruang tertutup dan sampel ketiga pada suhu ruang terbuka.

4.4.3 Tempe yang sudah di fermentasi.

Tabel 4. Hasil akhir pertumbuhan jamur

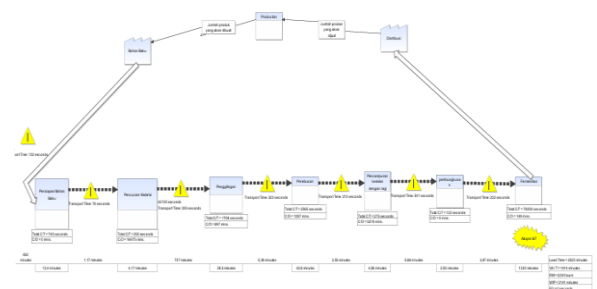
Tempe pada Inkubator 26 jam	Tempe suhu ruang tertutup 36 jam	Tempe suhu ruang terbuka 55 jam
		

4.5 Hasil Pemetaan Model *To-Be*

Model Pemetaan *To-Be* yang akan Dibangun didasarkan pada hasil pemetaan *As-Is* dan perhitungan *cycle time* pada seluruh proses pembuatan tempe.

Proses *As-is* menunjukkan perhitungan *lead time* dengan total 4625 menit yaitu akumulasi seluruh waktu tunggu dan proses, *Value time* (value added) 3532 menit. Hal tersebut menunjukkan waktu habis pada proses menunggu yaitu pada fermentasi. Sehingga potensi *waste* yang ada seperti *waiting*, *defect risk*, *inventory*. Hal tersebut diakibatkan oleh proses yang masih bergantung pada aktivitas manual, kondisi lingkungan yang kurang stabil, dan kurangnya waktu kontrol *real time* terutama pada proses fermentasi.

Peta aliran *To-Be* melakukan adopsi IoT untuk stabilisasi fermentasi, tracking suhu, mengurangi cacat, serta menurunkan *lead time*.



Gambar 8. Peta Alur *To-Be* Proses

Hasil dari implementasi IoT pada proses fermentasi tempe mengakibatkan *lead time* menjadi 2623 menit atau sekitar 43 jam 43 menit.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pembahasan, dan pengujian, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Proses fermentasi tempe tradisional tidak stabil dan menyebabkan produk cacat serta meningkatnya *Food Lost and Waste (FLW)*. Pemetaan proses menggunakan VSM menunjukkan bahwa fermentasi merupakan sumber pemborosan terbesar (*waiting, defect, inventory*).

Implementasi IoT Inkubator mampu menjaga suhu 30–40°C dan kelembapan stabil secara otomatis. Waktu fermentasi berhasil dipersingkat dari 55 jam - 26 jam dengan kualitas tempe lebih konsisten. *Lead time* total proses menurun dari 4625 menit - 2623 menit setelah penerapan IoT. Integrasi IoT dan *Lean Manufacturing* terbukti meningkatkan efisiensi, menurunkan cacat produksi, dan mengurangi FLW pada proses pembuatan tempe.

Daftar Pustaka

- [1] R. S. Sari, N. Nuryanto, and A. Widiyanto, "Temperature and Humidity Control System for Tempe Gembus Fermentation Process Based on Internet of Things," *Urecol Journal. Part G: Multidisciplinary Research*, vol. 1, no. 1, pp. 39–45, Jul. 2021, doi: 10.53017/ujmr.63.
- [2] 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." [Online]. Available: <http://www.ijeepse.ejournal.unri.ac.id>
- [3] E. Safrianti, L. Oktaviana Sari, and F. Wulandari, "IoT Applications in Fermented Tempe Production," 2022. [Online]. Available: <http://www.ijeepse.ejournal.unri.ac.id>
- [4] E. P. Kechagias, S. P. Gayialis, N. Panayiotou, and G. A. Papadopoulos, "A Holistic Framework for Evaluating Food Loss and Waste Due to Marketing Standards across the Entire Food Supply Chain," *Foods*, vol. 13, no. 20, Oct. 2024, doi: 10.3390/foods13203273.
- [5] I. Mekongga *et al.*, "Prototipe dengan Sistem IoT Pada Pengaturan Suhu dan Kelembapan Pada Permentasi Tempe IoT-Based Prototype for Temperature and Humidity Control in Tempe Fermentation," vol. 8, no. 2, 2023, doi: 10.31851/ampere.
- [6] A. Nurwahidah and A. Samad, *Bidang: Teknik Industri Topik: Rekayasa dan Perancangan Proses IDENTIFIKASI WASTE DENGAN METODE LEAN MANUFACTURING PADA PROSES PRODUKSI DI IKM TEMPE XYZ Program Studi Teknik Industri Agro, Politeknik ATI Makassar 4.*
- [7] A. Muzakki Andoko, J. Prayudha, S. Yakub, P. Studi Sistem Komputer, and S. Triguna Dharma, "IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS (IoT) MONITORING DAN PENGATUR SUHU RUANGAN FERMENTASI TEMPE BERBASIS MIKROKONTROLER," 2019. [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/>
- [8] "INKUBATOR TEMPE BERBASIS IOT."
- [9] 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.”
- [10] S. Handayani, M. Nuzuluddin, and 'Alimuddin 'Alimuddin, “Rancang Bangun Smart Hidroponik Berbasis IoT dengan Aplikasi Android,” *Jurnal PRINTER: Jurnal Pengembangan Rekayasa Informatika dan Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 46–59, Jun. 2024, doi: 10.29408/jprinter.v2i1.23799.
- [11] 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.”
- [12] Muh. R. Ramdan, T. Akbar, and H. M. Putra, “Sistem Monitoring Pengering Sepatu Otomatis Berbasis IoT,” *Jurnal PRINTER: Jurnal Pengembangan Rekayasa Informatika dan Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 43–52, Sep. 2023, doi: 10.29408/jprinter.v1i1.7207.
- [13] 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.”
- [14] 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.
- [15] D. Shagi Maharani, “ANALISIS PEMBOROSAN (WASTE) PRODUKSI TEMPE MENGGUNAKAN METODE LEAN MANUFACTURING DI UD. XYZ”, doi: 10.53912/iej.v10i2.xxx.
- [16] J. Astill *et al.*, “Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions,” Sep. 01, 2019, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.024.
- [17] C. Chauhan, A. Dhir, M. U. Akram, and J. Salo, “Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach,” *J Clean Prod*, vol. 295, May 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126438.
- [18] 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.
- [19] 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.