

DESAIN FERMENTOR SEDERHANA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT) UNTUK PEMBUATAN YOGURT SKALA UMKM

SEPTIAN DENY WIDYA PUTRA



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Desain Fermentor Sederhana Berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk Pembuatan Yogurt Skala UMKM” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Septian Deny Widya Putra
F2501211024

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

SEPTIAN DENY WIDYA PUTRA. Desain Fermentor Sederhana Berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk Pembuatan Yogurt Skala UMKM. Dibimbing oleh NURI ANDARWULAN dan DEDE ROBIATUL ADAWIYAH.

Produksi yogurt pada skala Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) sering menghadapi tantangan dalam menjaga konsistensi kualitas produk akibat fluktuasi kondisi proses, terutama suhu fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengaplikasikan sistem fermentor berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk standardisasi proses produksi serta mengembangkan formulasi yogurt fungsional dengan penambahan tepung beras merah. Fermentor dirancang dengan kontroler PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk menjaga stabilitas suhu dan dilengkapi sensor untuk pemantauan pH secara real-time. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor: suhu fermentasi (37 °C, 37-45 °C, dan 45 °C) dan konsentrasi tepung beras merah (0%, 5%, dan 10%). Parameter yang dianalisis meliputi model kinetika perubahan pH dan evaluasi sensori oleh panelis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu fermentasi dan konsentrasi tepung beras merah berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap laju penurunan pH. Sistem fermentor IoT terbukti mampu menjaga suhu proses sesuai set-point dengan akurasi tinggi. Hasil evaluasi sensori menunjukkan bahwa penambahan tepung beras merah hingga konsentrasi 10% menghasilkan produk yang dapat diterima dengan baik oleh panelis. Pengembangan fermentor IoT dan formulasi ini tidak hanya menjadi solusi teknologi bagi UMKM untuk meningkatkan efisiensi dan standardisasi produksi, tetapi juga membuka potensi pengembangan ragam produk pangan fungsional baru berbasis susu dan beras.

Kata kunci: yogurt, beras merah, fermentor, pH, sensori



SUMMARY

SEPTIAN DENY WIDYA PUTRA. A Simple Internet of Things (IoT)-Based Fermentor Design for Micro, Small and Medium Enterprise (MSME) Yogurt Production. Supervised by NURI ANDARWULAN and DEDE ROBIATUL ADAWIYAH.

Yogurt production at the Micro, Small and Medium Enterprise (MSME) level often faces challenges in maintaining consistent product quality due to fluctuations in process conditions, particularly fermentation temperature. This research aimed to design and apply an Internet of Things (IoT) based fermentor system for process standardization and to develop a functional yogurt formulation with the addition of red rice flour. The fermentor was designed with a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller to maintain temperature stability and was equipped with a sensor for real-time pH monitoring. This study employed a factorial completely randomized design (CRD) with two factors: fermentation temperature (37 °C, 37-45 °C, and 45 °C) and red rice flour concentration (0%, 5%, and 10%). The analyzed parameters included the kinetic model of pH changes and sensory evaluation by panelists. The results indicated that fermentation temperature and red rice flour concentration had a significant effect ($p < 0.05$) on the rate of pH reduction. The IoT fermentor system was proven capable of maintaining the process temperature at the set-point with high accuracy. Sensory evaluation results indicated that the addition of red rice flour up to a concentration of 10% yielded a product that was well-accepted by panelists. The development of this IoT fermentor and formulation not only provides a technological solution for MSMEs to improve production efficiency and standardization but also opens up the potential for developing a variety of new functional food products based on dairy and rice.

Keywords: yogurt, red rice, fermenter, pH, sensory.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

DESAIN FERMENTOR SEDERHANA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT) UNTUK PEMBUATAN YOGURT SKALA UMKM

SEPTIAN DENY WIDYA PUTRA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Pangan

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Tesis : Desain Fermentor Sederhana Berbasis *Internet of Things* (IoT)
untuk Pembuatan Yogurt Skala UMKM
Nama : Septian Deny Widya Putra
NIM : F2501211024

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof Dr Ir Nuri Andarwulan, M.Si.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Dede Robiatul Adawiyah, M.Si.

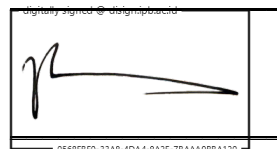


Diketahui oleh

Ketua Program Studi Ilmu Pangan:
Prof. Dr. Ir. Harsi D. Kusumaningrum
NIP 196405021993032004



Dekan Fakultas Teknologi Pertanian :
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP 196105021986031002



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga penelitian yang berjudul “Desain Fermentor Sederhana Berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk Pembuatan Yogurt Skala UMKM” ini berhasil diselesaikan sebagai salah satu persyaratan kelulusan Program Studi Magister Ilmu Pangan di Sekolah Pascasarjana IPB.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof Dr Ir Nuri Andarwulan, M.Si. dan Prof. Dr. Ir. Dede Robiatul Adawiyah, M.Si. selaku Komisi Pembimbing yang memberikan arahan serta masukan yang sangat berharga kepada penulis.
2. Dr. Tjahja Muhandri, S.TP., M.T. selaku dosen penguji atas koreksi dan arahan yang diberikan.
3. Para dosen di Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, IPB University, yang telah membagikan ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
4. Istri tercinta, Listiana Wibowo dan anak-anak terkasih, Anantasena dan Arkana, yang mendukung, mendampingi, menyemangati penulis untuk meraih pendidikan S2.
5. Kedua orang tua penulis, Bapak O. Djumadi dan Ibu Yustina Kensucianingsih yang tidak pernah lelah mendoakan penulis supaya dapat menyelesaikan studi.
6. Kepala BRMP dan seluruh staf BRMP, khususnya BRMP Padi, yang mendukung upaya peningkatan SDM melalui penugasan pegawai untuk meraih pendidikan yang lebih tinggi.
7. Teman-teman IPN angkatan 2021 yang saling mendukung dan berbagi informasi demi kelancaran studi.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Septian Deny Widya Putra



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
1.6 Hipotesis	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sistem Kendali <i>Proportional-Integral-Derivative</i> (PID)	3
2.2 Aplikasi Kontrol PID dalam Industri	3
2.3 Metodologi Penalaan Parameter PID	5
2.4 Yogurt	7
2.5 Model Matematika Perubahan pH pada Proses Fermentasi Yogurt	8
2.6 Beras Merah	9
2.7 <i>Check-All-That-Apply</i> (CATA) dan Uji Hedonik	9
III METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Tahapan Penelitian	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Perancangan Purwarupa Alat Pembuat Yogurt	22
4.2 Penalaan Parameter PID (<i>Proportional-Integral-Derivative</i>)	27
4.3 Pemodelan Perubahan pH Selama Fermentasi	31
4.4 Pengaruh Suhu Inkubasi dan Penambahan Tepung Beras pada Karakteristik Sensori Produk Yogurt	33
V SIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Simpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	45
RIWAYAT HIDUP	49

DAFTAR TABEL

1. Perlakuan dan kode sampel yang digunakan di dalam penelitian	16
2. Hasil pengukuran suhu dari sensor yang digunakan	25
3. Parameter untuk penalaan kontrol PID purwarupa fermentor	29
4. Parameter PID hasil penalaan dengan metode ZN dan CHR	29
5. Hasil evaluasi metode penalaan ZN dan CHR	30
6. Parameter model penurunan pH berdasarkan modifikasi persamaan Gompertz	32
7. Hasil pengujian CATA produk yogurt tanpa penambahan tepung beras merah, dengan penambahan tepung beras merah, yogurt komersial, dan yogurt ideal menurut panelis	34
8. Kategori atribut yogurt berdasarkan analisis penalti	36

DAFTAR GAMBAR

1. Tipe fermentor yogurt	12
2. Dua komponen utama dalam purwarupa pembuat yogurt	12
3. Contoh grafik respon langkah untuk perhitungan parameter penalaan PID	14
4. Diagram alir pemilihan parameter pengendalian suhu fermentor	15
5. Metode grafik evaluasi PID	16
6. Proses pembuatan <i>mother culture</i>	17
7. Diagram alir pembuatan yogurt dengan penambahan beras merah	18
8. Penempatan sampel di dalam fermentor	19
9. Komponen alat pembuat yogurt	22
10. Skema rangkaian driver elemen pemanas	22
11. Penampakan dalam boks fermentor	23
12. Penampakan luar fermentor	23
13. Komponen elektronik pengontrol fermentor	24
14. Tampilan antarmuka pada gawai	24
15. Kurva kalibrasi sensor A	25
16. Kurva kalibrasi sensor B	26
17. Kurva kalibrasi sensor C	26
18. Gambar teknis purwarupa fermentor. (A) Tampak samping. (B) Tampak depan. Seluruh dimensi dalam satuan cm.	27
19. Grafik respon langkah untuk perhitungan r_i (<i>rate of integration</i>)	28
20. Grafik respon langkah untuk perhitungan t_d (<i>time delay</i>)	28
21. Grafik evaluasi penalaan PID metode ZN dan CHR	29
22. Grafik perubahan suhu fermentor selama proses fermentasi	30
23. Grafik perubahan pH yogurt selama proses fermentasi	31
24. Grafik model penurunan pH berdasarkan modifikasi persamaan Gompertz	32



25. Skor hedonik sampel yogurt komersial (K), yogurt tanpa penambahan beras merah (A0 – C0), dan yogurt dengan penambahan beras merah (B5 – C10)	33
26. Hasil PCoA (<i>Principal Coordinate Analysis</i>) Sampel Yogurt	35
27. Analisis penalti atribut sensori yogurt	36

DAFTAR LAMPIRAN

1. Evaluasi performa PID berdasarkan penalaan ZN menggunakan pendekatan grafik	45
2. Evaluasi performa PID berdasarkan penalaan CHR menggunakan pendekatan grafik	46
3. Hasil uji Anova atas pengaruh suhu fermentasi dan penambahan tepung beras merah terhadap parameter model perubahan pH	47
4. Produk yogurt hasil penelitian	48