

PEMBANGUNAN SISTEM KENDALI LINGKUNGAN PREDIKTIF MELALUI IMPLEMENTASI *LONG SHORT TERM MEMORY* PADA GUDANG ALAT KESEHATAN

AURA KHARINA



**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

- 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.

Perpustakaan IPB University



@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.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa Laporan Akhir dengan judul “Pembangunan Sistem Kendali Lingkungan Prediktif Melalui Implementasi *Long Short Term Memory* pada Gudang Alat Kesehatan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun 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 Laporan Akhir ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Aura Kharina
J0404221084



@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.



ABSTRAK

AURA KHARINA. Pembangunan Sistem Kendali Lingkungan Prediktif Melalui Implementasi *Long Short Term Memory* pada Gudang Alat Kesehatan. Dibimbing oleh FALDIENA MARCELITA.

Penyimpanan alat kesehatan memerlukan pengendalian kondisi lingkungan gudang alat kesehatan yang tepat untuk menjaga kualitas dan fungsionalitas alat. Sistem kendali konvensional yang bersifat reaktif memiliki keterbatasan karena aktuatur baru bekerja setelah kondisi kritis terjadi. Penelitian ini bertujuan membangun sistem kendali lingkungan prediktif berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Long Short Term Memory* (LSTM) yang mampu memantau suhu, kelembapan, dan CO₂ secara *real-time* serta memprediksi kondisi 15 menit ke depan untuk mengaktifkan aktuatur secara proaktif. Sistem IoT dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor SHT31 dan MQ135 yang menunjukkan akurasi pembacaan 97–99%. Model LSTM dilatih menggunakan 138.892 data historis selama 27 hari dengan teknik *sliding window* dan dievaluasi menggunakan metrik RMSE dan MAE yang menghasilkan tingkat kesalahan prediksi yang rendah untuk ketiga parameter lingkungan, yaitu RMSE sebesar 0,2318°C dan MAE sebesar 0,1865°C untuk suhu, RMSE sebesar 1,2362% dan MAE sebesar 1,0514% untuk kelembapan, dan RMSE sebesar 22,1802 ppm dan MAE sebesar 12,5938 ppm untuk CO₂. Pengujian sistem kendali 3-level menunjukkan keberhasilan 100% pada 25 skenario dengan waktu respons rata-rata 1,24 detik. Setelah sistem dioperasikan, nilai maksimum kelembapan turun dari 83,20% menjadi 76,51% dan standar deviasi CO₂ turun dari 64,48 menjadi 3,35 yang membuktikan sistem kendali prediktif mampu menjaga kestabilan lingkungan gudang alat kesehatan.

Kata kunci: gudang alat kesehatan, kendali lingkungan prediktif, LSTM



ABSTRACT

AURA KHARINA. Development of a Predictive Environmental Control System Through the Implementation of Long Short Term Memory in a Medical Equipment Warehouse. Supervised by FALDIENA MARCELITA.

Medical device storage requires proper environmental control to maintain device quality and functionality. Conventional reactive control systems are limited by the fact that actuators only operate after critical conditions occur. This research aims to develop a predictive environmental control system based on the Internet of Things (IoT) and Long Short Term Memory (LSTM) that can monitor temperature, humidity, and CO₂ in real time and predict conditions 15 minutes in advance to proactively activate actuators. The IoT system is built using an ESP32 microcontroller with SHT31 and MQ135 sensors that show a reading accuracy of 97–99%. The LSTM model was trained using 138.892 historical data for 27 days with a sliding window technique and evaluated using RMSE and MAE metrics which resulted in low prediction error rates for all three environmental parameters, namely RMSE of 0,2318°C and MAE of 0,1865°C for temperature, RMSE of 1,2362% and MAE of 1,0514% for humidity, and RMSE of 22,1802 ppm and MAE of 12,5938 ppm for CO₂. Testing of the 3-level control system showed 100% success in 25 scenarios with an average response time of 1,24 seconds. After the system was operated, the maximum humidity value decreased from 83,20% to 76,51% and the standard deviation of CO₂ decreased from 64,48 to 3,35 which proved that the predictive control system was successful in maintaining the environmental stability of the medical equipment warehouse.

Keywords: LSTM, medical equipment warehouse, predictive environmental control



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 2026
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.



@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.

PEMBANGUNAN SISTEM KENDALI LINGKUNGAN PREDIKTIF MELALUI IMPLEMENTASI *LONG SHORT TERM MEMORY* PADA GUDANG ALAT KESEHATAN

AURA KHARINA

Laporan Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Teknologi Rekayasa Komputer

**TEKNOLOGI REKAYASA KOMPUTER
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
— Bogor Indonesia —

Penguji pada Ujian Laporan Akhir: Dr. Shelve Nidya Neyman, S.Kom., M.Si.

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.

Perpustakaan IPB University



Judul Laporan Akhir : Pembangunan Sistem Kendali Lingkungan Prediktif Melalui Implementasi *Long Short Term Memory* pada Gudang Alat Kesehatan

Nama : Aura Kharina
NIM : J0404221084

@Hak cipta milik IPB University

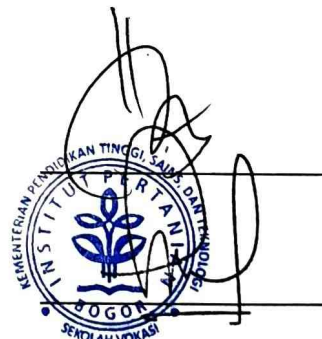
Disetujui oleh

Pembimbing:
Faldiena Marcelita, S.T., M.Kom.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Inna Novianty, S.Si., M.Si.
NPI. 201811198611192001

Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP. 196607171992031003



Tanggal Ujian:
4 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



@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.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga laporan akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2025 sampai bulan Mei 2026 ini ialah *Internet of Things*, dengan judul “Pembangunan Sistem Kendali Lingkungan Prediktif Melalui Implementasi *Long Short Term Memory* pada Gudang Alat Kesehatan”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ibu Faldiena Marcelita, S.T., M.Kom. sebagai Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan, serta masukan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada PT. Synergy Dua Kawan Sejati yang telah memberi izin melaksanakan penelitian. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada nenek, mama, serta seluruh rekan seperjuangan yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama penulis menyusun tugas akhir ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Aura Kharina



@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.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Batasan Masalah	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Internet of Things</i>	5
2.2 <i>Message Queuing Telemetry Transport</i>	5
2.3 ESP32	5
2.4 SHT31	6
2.5 MQ135	6
2.6 <i>Long Short Term Memory</i>	7
2.7 Penelitian Terdahulu	7
III METODE	9
3.1 Lokasi dan Waktu Proyek Akhir	9
3.2 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data	9
3.3 Prosedur Kerja	13
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Analisis dan Perancangan	16
4.2 Pembangunan dan Implementasi Perangkat Keras	24
4.3 Pengumpulan <i>Dataset</i>	26
4.4 <i>Training</i> dan Pembangunan Model LSTM	28
4.5 Evaluasi Model dengan Matriks RMSE dan MAE	33
4.6 Implementasi Perangkat Lunak dan Integrasi Sistem	35
4.7 Pengujian Sistem dan Validasi Integrasi	47
4.8 Penulisan Laporan	54
V SIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	62
RIWAYAT HIDUP	70

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.



DAFTAR TABEL

1	Daftar kebutuhan perangkat keras	16
2	Daftar kebutuhan perangkat lunak	17
3	Data perbandingan pengujian sensor dengan alat referensi	25
4	Hasil pengumpulan <i>dataset</i> selama 27 hari (31 Januari – 26 Februari 2026)	26
5	Daftar fitur yang digunakan dalam pelatihan model	28
6	Daftar konfigurasi <i>sequence</i>	29
7	Daftar pembagian <i>dataset</i>	30
8	Arsitektur model LSTM	31
9	Konfigurasi proses <i>training</i> model LSTM	32
10	Hasil evaluasi model LSTM pada <i>test set</i>	33
11	Struktur topik MQTT pada komunikasi ESP32 dan <i>backend</i> aplikasi	36
12	Daftar <i>endpoints</i> HTTP pada komunikasi <i>backend</i> aplikasi dan <i>backend</i> ML server	36
13	Nilai yang ditetapkan dalam <i>threshold manual override</i>	45
14	Nilai yang ditetapkan dalam <i>threshold</i> prediktif	46
15	Nilai yang ditetapkan dalam <i>threshold safety off</i>	46
16	Pengujian <i>level manual override</i>	48
17	Pengujian <i>level</i> kendali prediktif	49
18	Pengujian <i>level safety off</i>	50
19	Hasil pengujian fungsional 3-level <i>threshold</i>	50
20	Hasil pengukuran waktu respons aktuator	51
21	Hasil perbandingan statistik deskriptif kondisi lingkungan gudang sebelum dan sesudah sistem prediktif dioperasikan	53

DAFTAR GAMBAR

1	ESP32	5
2	SHT31	6
3	MQ135	6
4	Prosedur kerja penelitian	13
5	Diagram alir alat	19
6	Perancangan komunikasi data	21
7	Rancangan blok diagram	21
8	Rangkaian skematik	23
9	Desain komponen utama: (a) tampak depan; (b) tampak kanan; (c) tampak bawah	23
10	Desain <i>casing</i> aktuator mekanik	24
11	Implementasi perangkat keras	24
12	Pengujian pembacaan sensor dengan referensi	25
13	Visualisasi <i>time series dataset</i> 27 hari (31 Januari - 26 Februari 2026)	27
14	Informasi statistik deskriptif <i>dataset</i>	27
15	Grafik <i>loss</i> (MSE) – <i>training</i> vs <i>validation</i>	32
16	Grafik prediksi vs aktual pada <i>test set</i> (300 sampel pertama)	35
17	Potongan kode untuk membaca data sensor setiap 15 detik	37

18	Potongan kode untuk menangani hasil prediksi ML	37
19	Potongan kode fungsi <i>ingestion</i> data sensor	38
20	Potongan kode fungsi pemicuan prediksi ke <i>backend</i> ML	39
21	Potongan kode fungsi persiapan <i>input</i> pada <i>backend</i> ML	40
22	Potongan kode fungsi <i>inverse</i> transform hasil prediksi	40
23	Potongan kode implementasi Supabase <i>Real-time subscription</i> pada <i>frontend</i>	41
24	Tampilan <i>dashboard web</i>	42
25	Proses inferensi <i>end-to-end</i>	43
26	Notifikasi yang dikirimkan pada kepala gudang saat kondisi <i>manual override</i> : (a) notifikasi pertama; (b) notifikasi kedua; (c) notifikasi ketiga	44
27	Notifikasi yang dikirimkan pada kepala gudang saat kendali prediktif	45
28	Notifikasi yang dikirimkan pada kepala gudang saat kondisi <i>safety off</i>	46
29	Implementasi perangkat keras	47
30	Visualisasi <i>time series</i> setelah sistem kendali prediktif aktif	52

DAFTAR LAMPIRAN

1	Data pengujian suhu dari sensor SHT31	63
2	Data pengujian kelembapan dari sensor SHT31	63
3	Data pengujian CO ₂ dari sensor MQ135	64
4	Potongan kode program untuk membangun model LSTM	65
5	Potongan kode program untuk <i>firmware</i> ESP32	66
6	Potongan kode program untuk <i>ingestion</i> data sensor	67
7	Potongan kode program untuk <i>backend</i> ML	68
8	Potongan kode program untuk tampilan <i>dashboard frontend</i>	69