

# **PERANCANGAN MODEL PREDIKSI SUHU *STEAM TUNNEL* MENGUNAKAN *MACHINE LEARNING* PADA PROSES PENGUKUSAN BOLU LAPIS DI PT XYZ**

**CAHYA ARDI SAPUTRA**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI  
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 TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Perancangan Model Prediksi Suhu *Steam Tunnel* Menggunakan *Machine Learning* pada Proses Pengukusan Bolu Lapis di PT XYZ” 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 tugas akhir ini.

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

Bogor, Juli 2026

Cahya Ardi Saputra  
F3401221099



## ABSTRAK

CAHYA ARDI SAPUTRA. Perancangan Model Prediksi Suhu *Steam Tunnel* Menggunakan *Machine Learning* pada Proses Pengukusan Bolu Lapis di PT XYZ. Dibimbing oleh MARIMIN.

Kestabilan suhu selama pengukusan merupakan faktor penting dalam menjaga mutu bolu lapis karena penyimpangan suhu dapat menyebabkan produk terlalu kering atau memiliki tinggi yang tidak sesuai standar. Penelitian ini bertujuan merancang model prediksi suhu pada setiap zona *steam tunnel* menggunakan *machine learning*, mengevaluasi kinerjanya, serta merancang modul prediksi suhu berbasis *website* untuk mendukung pemantauan suhu di PT XYZ. Perancangan dilakukan melalui dua iterasi. Iterasi pertama membandingkan algoritma *Decision Tree*, *Random Forest*, *Gradient Boosting*, *LightGBM*, dan *XGBoost* yang dioptimasi menggunakan *Random Search*, *Grid Search*, dan *Optuna*, sedangkan iterasi kedua menerapkan *ensemble learning* untuk meningkatkan performa prediksi. Kinerja model dievaluasi menggunakan MAE, MSE, RMSE, MAPE, dan  $R^2$ . *XGBoost* dengan *Random Search* menghasilkan model terbaik pada Zona 1 dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,95. *XGBoost* dengan *Grid Search* menghasilkan model terbaik pada Zona 2 dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,86. *Stacking Regressor* memberikan performa terbaik pada Zona 3 dan Zona 4 dengan nilai  $R^2$  masing-masing sebesar 0,89 dan 0,85. Model kemudian diimplementasikan ke dalam modul prediksi suhu berbasis *website* dan memperoleh tingkat penerimaan sebesar 82,5% berdasarkan *User Acceptance Testing* (UAT), yang termasuk kategori sangat baik. Modul yang dirancang mampu mendukung pemantauan suhu *steam tunnel* sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menjaga kestabilan proses pengukusan bolu lapis.

Kata kunci: bolu lapis, kualitas produk, *machine learning*, pengukusan, prediksi suhu



## ABSTRACT

CAHYA ARDI SAPUTRA. Designing a Steam Tunnel Temperature Prediction Model Using Machine Learning in the Steaming Process of Layer Cake at PT XYZ. Supervised by MARIMIN.

Temperature stability during the steaming process is essential for maintaining layered cake quality, as temperature deviations may cause the product to become excessively dry or fail to meet the required height specifications. This study aimed to design a temperature prediction model for each steam tunnel zone using machine learning, evaluate its performance, and develop a website-based prediction module for temperature monitoring at PT XYZ. The model was developed through two iterations. The first compared Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting, LightGBM, and XGBoost optimized using Random Search, Grid Search, and Optuna, while the second applied ensemble learning. Performance was evaluated using MAE, MSE, RMSE, MAPE, and  $R^2$ . XGBoost optimized using Random Search achieved the best performance for Zone 1 with an  $R^2$  of 0.95, while XGBoost optimized using Grid Search performed best for Zone 2 with an  $R^2$  of 0.86. Stacking Regressor performed best for Zones 3 and 4 with  $R^2$  values of 0.89 and 0.85, respectively. The website-based module achieved a User Acceptance Testing (UAT) score of 82.5%, categorized as very good, and supports steam tunnel temperature monitoring for decision-making during the steaming process.

**Keywords:** layer cake, machine learning, product quality, steaming, temperature prediction



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<sup>1</sup>  
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.*

# **PERANCANGAN MODEL PREDIKSI SUHU *STEAM TUNNEL* MENGUNAKAN *MACHINE LEARNING* PADA PROSES PENGUKUSAN BOLU LAPIS DI PT XYZ**

**CAHYA ARDI SAPUTRA**

Tugas Akhir  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik pada  
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir:  
1. Prof. Dr. Taufik, S.T.P., M.Si.  
2. Prof. Dr. Ono Suparno, S.T.P., M.T.



## @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 Tugas Akhir : Perancangan Model Prediksi Suhu *Steam Tunnel*  
Menggunakan *Machine Learning* pada Proses Pengukusan  
Bolu Lapis di PT XYZ

Nama : Cahya Ardi Saputra  
NIM : F3401221099

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Prof. Dr. Ir. Marimin, M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Prof. Dr. Ono Suparno, S.TP., M.T.  
NIP 197212031997021001



Tanggal Ujian:  
21 Juli 2026

Tanggal Lulus:

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2026 sampai bulan Juni 2026 sebagai bagian dari Proyek Desain Utama Agroindustri ini berjudul “Perancangan Model Prediksi Suhu *Steam Tunnel* Menggunakan *Machine Learning* pada Proses Pengukusan Bolu Lapis di PT XYZ”. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, dan semangat kepada penulis dalam mengerjakan proyek ini.
2. Prof. Dr. Ir. Marimin, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, ilmu, motivasi, serta bimbingan selama pelaksanaan proyek dan penyusunan laporan ini.
3. Dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang membangun untuk penyempurnaan proyek ini.
4. PT XYZ beserta seluruh pihak yang telah memberikan kesempatan, fasilitas, data, dan dukungan selama pelaksanaan penelitian.
5. Rekan satu tim Proyek Desain Utama Agroindustri, yaitu Jihan, Vanya, dan Rafi, atas kerja sama, dukungan, serta pengalaman berharga selama pelaksanaan proyek.
6. Seluruh mahasiswa Teknik Industri Pertanian Angkatan 59 yang telah memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan selama masa perkuliahan.

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

Bogor, Juli 2026

Cahya Ardi Saputra



## DAFTAR ISI

|                                                                    |      |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| DAFTAR TABEL                                                       | xii  |
| DAFTAR GAMBAR                                                      | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN                                                    | xii  |
| DAFTAR ISTILAH                                                     | xiii |
| PENDAHULUAN                                                        | 1    |
| 1.1 Latar Belakang                                                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah                                                | 2    |
| 1.3 Tujuan                                                         | 2    |
| 1.4 Manfaat                                                        | 2    |
| 1.5 Keterkaitan Dengan Proyek Utama                                | 3    |
| 1.6 Ruang Lingkup                                                  | 3    |
| II TINJAUAN PUSTAKA                                                | 4    |
| 2.1 Bolu Lapis dan Proses Pengukusan                               | 4    |
| 2.2 <i>Steam Tunnel</i>                                            | 4    |
| 2.3 <i>Machine Learning</i>                                        | 5    |
| 2.4 <i>Ensemble Learning</i>                                       | 8    |
| 2.5 <i>Hyperparameter Tuning</i>                                   | 10   |
| 2.6 Perancangan Sistem                                             | 11   |
| III METODE                                                         | 13   |
| 3.1 Waktu dan Tempat                                               | 13   |
| 3.2 Kerangka Pemikiran                                             | 13   |
| 3.3 Pengumpulan Data                                               | 14   |
| 3.4 <i>Preprocessing</i> Data                                      | 14   |
| 3.5 <i>Feature Engineering</i>                                     | 15   |
| 3.6 <i>Processing</i> Data                                         | 15   |
| 3.7 Pelatihan dan Optimasi Model                                   | 16   |
| 3.8 Evaluasi Model                                                 | 16   |
| 3.9 Perancangan Sistem                                             | 18   |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN                                            | 21   |
| 4.1 Analisis Situasional                                           | 21   |
| 4.2 Analisis Deskriptif                                            | 22   |
| 4.3 Hasil <i>Preprocessing</i> Data dan <i>Feature Engineering</i> | 26   |
| 4.4 Hasil <i>Processing</i> Data                                   | 27   |
| 4.5 Hasil Pelatihan dan Optimasi Model Iterasi 1                   | 27   |
| 4.6 Hasil Pelatihan dan Optimasi Model Iterasi 2                   | 33   |
| 4.7 Perancangan Sistem Prediksi Suhu                               | 38   |
| 4.8 Implikasi Manajerial dan Dampak Bisnis                         | 42   |
| 4.9 Keterbatasan Proyek Desain Utama                               | 43   |
| V SIMPULAN DAN SARAN                                               | 44   |
| 5.1 Simpulan                                                       | 44   |
| 5.2 Saran                                                          | 44   |

|                |    |
|----------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 45 |
| LAMPIRAN       | 48 |
| RIWAYAT HIDUP  | 53 |





## DAFTAR TABEL

|    |                                                            |    |
|----|------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Deskripsi variabel proyek                                  | 14 |
| 2  | Bobot penilaian skala Likert                               | 20 |
| 3  | Kategori interpretasi hasil UAT                            | 20 |
| 4  | Contoh data parameter operasional <i>steam tunnel</i>      | 23 |
| 5  | Fitur input model prediksi suhu                            | 26 |
| 6  | Hasil pengujian model prediksi suhu zona 1                 | 27 |
| 7  | Hasil pengujian model prediksi suhu zona 2                 | 29 |
| 8  | Hasil pengujian model prediksi suhu zona 3                 | 31 |
| 9  | Hasil pengujian model prediksi suhu zona 4                 | 32 |
| 10 | Hasil pengujian model <i>ensemble</i> prediksi suhu zona 1 | 34 |
| 11 | Hasil pengujian model <i>ensemble</i> prediksi suhu zona 2 | 35 |
| 12 | Hasil pengujian model <i>ensemble</i> prediksi suhu zona 3 | 37 |
| 13 | Hasil pengujian model <i>ensemble</i> prediksi suhu zona 4 | 38 |
| 14 | <i>Functional requirements</i>                             | 39 |
| 15 | <i>Non-functional requirements</i>                         | 39 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                  |    |
|----|--------------------------------------------------|----|
| 1  | Kerangka pemikiran                               | 13 |
| 2  | Model <i>prototype</i>                           | 19 |
| 3  | Mesin <i>steam tunnel</i>                        | 21 |
| 4  | Suhu zona 1                                      | 24 |
| 5  | Suhu zona 2                                      | 24 |
| 6  | Suhu zona 3                                      | 25 |
| 7  | Suhu zona 4                                      | 25 |
| 8  | Hasil prediksi suhu zona 1                       | 29 |
| 9  | Hasil prediksi suhu zona 2                       | 30 |
| 10 | Hasil prediksi suhu zona 3                       | 32 |
| 11 | Hasil prediksi suhu zona 4                       | 33 |
| 12 | Hasil prediksi suhu zona 1 model <i>ensemble</i> | 35 |
| 13 | Hasil prediksi suhu zona 2 model <i>ensemble</i> | 36 |
| 14 | Hasil prediksi suhu zona 3 model <i>ensemble</i> | 37 |
| 15 | Hasil prediksi suhu zona 4 model <i>ensemble</i> | 38 |
| 16 | Tampilan <i>input</i> data prediksi suhu         | 41 |
| 17 | Tampilan hasil prediksi suhu                     | 41 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                 |    |
|---|-------------------------------------------------|----|
| 1 | Lampiran 1 Dataset parameter operasional        | 49 |
| 2 | Lampiran 2 <i>Hyperparameter</i> hasil optimasi | 50 |
| 3 | Lampiran 3 BPMN                                 | 51 |
| 4 | Lampiran 4 <i>Use case diagram</i>              | 52 |



## DAFTAR ISTILAH

|                                     |                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Base learner</i>                 | : Model individual yang digunakan sebagai penyusun model <i>ensemble</i> .                                                                                                                |
| <i>Decision Tree Regression</i>     | : Algoritma regresi berbasis pohon keputusan untuk memprediksi nilai kontinu.                                                                                                             |
| <i>Decompression</i>                | : Parameter tekanan pada sistem dekompresi uap pada mesin <i>steam tunnel</i> .                                                                                                           |
| <i>Ensemble learning</i>            | : Pendekatan yang menggabungkan beberapa model untuk menghasilkan prediksi yang lebih andal daripada model tunggal.                                                                       |
| <i>Feature engineering</i>          | : Proses pembentukan atau penambahan fitur untuk meningkatkan kemampuan model dalam mempelajari pola data.                                                                                |
| <i>Gradient Boosting Regression</i> | : Algoritma regresi yang membangun pohon keputusan secara bertahap untuk memperbaiki galat prediksi sebelumnya.                                                                           |
| <i>Grid Search</i>                  | : Metode optimasi hiperparameter dengan menguji seluruh kombinasi nilai parameter dalam ruang pencarian.                                                                                  |
| HMI                                 | : <i>Human Machine Interface</i> , antarmuka untuk menampilkan dan memantau parameter operasional mesin.                                                                                  |
| <i>Hyperparameter tuning</i>        | : Proses pencarian konfigurasi hiperparameter terbaik untuk meningkatkan kinerja model.                                                                                                   |
| IAPWS-97                            | : <i>International Association for the Properties of Water and Steam</i> adalah standar perhitungan sifat termodinamika air dan uap yang digunakan dalam pembentukan fitur termodinamika. |
| <i>Lag feature</i>                  | : Fitur yang merepresentasikan nilai suatu variabel pada interval waktu sebelumnya.                                                                                                       |
| LightGBM                            | : Algoritma <i>gradient boosting</i> berbasis pohon keputusan dengan strategi pertumbuhan pohon <i>leaf-wise</i> .                                                                        |
| MAE                                 | : <i>Mean Absolute Error</i> adalah rata-rata nilai absolut selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi.                                                                               |
| MAPE                                | : <i>Mean Absolute Percentage Error</i> adalah rata-rata persentase kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai prediksi.                                                             |
| <i>Missing value</i>                | : Nilai data yang tidak tersedia atau tidak tercatat pada suatu observasi.                                                                                                                |
| MSE                                 | : <i>Mean Squared Error</i> adalah rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi.                                                                                      |



Optuna

Preprocessing

$R^2$

Random Forest  
Regression

Random Search

RBC

RMSE

Steam flow

Steam tunnel

Valve opening

Weighted Average

XGBoost

: Kerangka optimasi hiperparameter adaptif melalui proses *sampling* dan *pruning*.

: Tahap pembersihan dan penyiapan data sebelum proses pemodelan.

: Koefisien determinasi yang mengukur proporsi variasi nilai aktual yang dapat dijelaskan oleh model.

: Algoritma regresi yang menggabungkan prediksi dari sejumlah pohon keputusan.

: Metode optimasi hiperparameter dengan menguji kombinasi parameter yang dipilih secara acak.

: *Reset Back Condition*, proses pengembalian kondisi mesin dan sistem instrumentasi ke kondisi standar.

: *Root Mean Squared Error*, akar dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi.

: Laju aliran uap dalam sistem pengukusan.

: Mesin pengukusan kontinu yang menggunakan uap sebagai media penghantar panas dan terdiri atas beberapa zona pemanasan.

: Persentase bukaan katup yang mengatur aliran uap menuju suatu zona.

: Metode *ensemble* yang menggabungkan prediksi beberapa model menggunakan bobot berbeda.

: *Extreme Gradient Boosting* adalah algoritma *gradient boosting* dengan regularisasi untuk mengurangi risiko *overfitting*.