

MODEL *CASCADING* SOM-ANN UNTUK MEMPREDIKSI PERUBAHAN FISILOGIS SAPI AKIBAT STRES PERJALANAN

HARRY DHIKA



PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Model *Cascading* SOM-ANN untuk Memprediksi Perubahan Fisiologis Sapi akibat Stres Perjalanan” 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 disertasi ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Harry Dhika
NIM. G661194061



RINGKASAN

HARRY DHIKA. Model *Cascading* SOM-ANN untuk Memprediksi Perubahan Fisiologis Sapi akibat Stres Perjalanan. Dibimbing oleh AGUS BUONO, SHELVE NIDYA NEYMAN, dan DEWI APRI ASTUTI.

Transportasi merupakan faktor penyebab stres pada sapi yang memicu perubahan fisiologis, meliputi parameter fisiologis, metabolit, dan susut bobot badan. Kondisi ini berdampak pada kesehatan, kesejahteraan hewan, serta menimbulkan kerugian ekonomi. Penelitian terdahulu umumnya menggunakan model *machine learning* tunggal tanpa mengeksplorasi karakteristik data secara mendalam, sementara pemanfaatan *Self-Organizing Map* (SOM) masih terbatas pada klasterisasi dasar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan model *cascading* SOM-ANN. Dalam pendekatan ini, SOM berfungsi sebagai mekanisme *routing* berbasis *unsupervised learning* yang menangani heterogenitas data fisiologis multidimensi menjadi kelompok-kelompok homogen sebelum dimodelkan ke dalam ANN, sehingga kinerja model prediksi menjadi lebih baik. Dengan demikian, ANN bertindak sebagai *expert model* prediksi yang menangani kompleksitas nonlinier pada setiap *cluster* yang telah bersifat homogen.

Penelitian ini menggunakan data fisiologis, metabolit, dan parameter transportasi dari 88 ekor sapi Peranakan Ongole (PO). Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metrik *Coefficient of Determination* (R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Error* (MAE) dengan skema *Leave-One-Out Cross Validation* (LOOCV). Model yang diusulkan dikomparasikan dengan model ANN tunggal, *Random Forest Regressor* (RFR), dan *Support Vector Regression* (SVR), baik pada konfigurasi *baseline* maupun setelah *hyperparameter tuning*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa SOM berhasil memetakan data ke dalam dua *cluster* profil perubahan fisiologis yang secara optimal memisahkan sapi dengan kondisi homeostasis dan sapi yang mengalami perubahan metabolik, sehingga heterogenitas awal data tereduksi menjadi homogenitas intra-*cluster*. Selanjutnya, model *cascading* SOM-ANN 2 *cluster* terbukti sebagai model yang paling *robust* dan optimal. Model terbaik global berhasil mencatatkan nilai R^2 tertinggi untuk masing-masing target prediksi, yaitu 0,95 untuk persentase susut bobot, 0,66 untuk frekuensi respirasi, 0,77 untuk kadar glukosa, dan 0,73 untuk kadar kreatinin saat sampai, dengan nilai RMSE dan MAE yang paling rendah dibandingkan model komparator.

Keunggulan ANN dalam model *cascading* ini terletak pada kemampuannya memanfaatkan struktur *cluster* homogen hasil SOM untuk menghasilkan prediksi yang lebih akurat, stabil, dan memiliki generalisasi yang lebih baik, sekaligus memungkinkan setiap hasil prediksi ditelusuri kembali ke profil fisiologis *cluster* terkait sehingga memperkuat interpretasi melalui analisis SHAP. Kontribusi penelitian meliputi pengembangan model *cascading* untuk pemodelan data fisiologis multidimensi yang dilengkapi analisis SHAP.

Kata kunci: *artificial neural network*, *machine learning*, perubahan fisiologis, *self-organizing map*, transportasi sapi.

@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.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

HARRY DHIKA. Model Cascading SOM-ANN Model for Predicting Physiological Changes in Cattle Caused by Transportation Stress. Supervised by AGUS BUONO, SHELVE NIDYA NEYMAN, and DEWI APRI ASTUTI.

Transportation is a stress-inducing factor in cattle that triggers physiological changes, including physiological parameters, metabolites, and body weight loss. This condition affects animal health and welfare and causes economic losses. Previous studies have generally used single machine learning models without exploring data characteristics in depth, while the use of Self-Organizing Map (SOM) has remained limited to basic clustering. Therefore, this study aims to develop a cascading SOM-ANN model. In this approach, SOM functions as an unsupervised-learning-based routing mechanism that addresses the heterogeneity of multidimensional physiological data by transforming it into homogeneous clusters prior to modeling with ANN, thereby improving the performance of the predictive model. Accordingly, ANN acts as an expert predictive model that handles nonlinear complexity within each homogeneous cluster.

This study used physiological, metabolite, and transportation parameter data from 88 Peranakan Ongole (PO) cattle. Model performance was evaluated using the Coefficient of Determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE), and Mean Absolute Error (MAE) under a Leave-One-Out Cross-Validation (LOOCV) scheme. The proposed model was compared with a single ANN model, Random Forest Regressor (RFR), and Support Vector Regression (SVR), both under baseline configurations and after hyperparameter tuning.

The results show that SOM successfully mapped the data into two clusters of physiological change profiles that optimally separated cattle in homeostasis from cattle experiencing metabolic changes, thereby reducing initial data heterogeneity into intra-cluster homogeneity. Furthermore, the two-cluster SOM-ANN cascading model proved to be the most robust and optimal model. The best overall model achieved the highest R^2 values for each prediction target: 0.95 for percentage of body weight loss, 0.66 for respiratory rate, 0.77 for glucose level, and 0.73 for creatinine level upon arrival, with the lowest RMSE and MAE compared with the comparator models.

The advantage of ANN in this cascading model lies in its ability to leverage the homogeneous cluster structure generated by SOM to produce more accurate, stable, and better-generalized predictions, while allowing each prediction to be traced back to the physiological profile of the corresponding cluster, thereby strengthening interpretation through SHAP analysis. The contributions of this study include the development of a cascading model for modeling multidimensional physiological data, complemented by SHAP analysis.

Keywords: artificial neural network, physiological changes, cattle transportation, machine learning, self-organizing map.



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.

MODEL *CASCADING* SOM-ANN UNTUK MEMPREDIKSI PERUBAHAN FISIOLOGIS SAPI AKIBAT STRES PERJALANAN

HARRY DHIKA



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Aziz Kustiyo, S.Si, M.Kom
- 2 Dr. Alusyanti Primawati, S.Kom., M.Kom

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Aziz Kustiyo, S.Si, M.Kom
- 2 Dr. Alusyanti Primawati, S.Kom., M.Kom

Judul Disertasi: Model *Cascading* SOM-ANN untuk Memprediksi
Perubahan Fisiologis Sapi akibat Stres Perjalanan.

Nama : Harry Dhika
NIM : G661194061

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom
an. Pembimbing 2
Dr. Shelve Nidya Neyman, S.Kom., M.Si

Pembimbing 3:

Prof. Dr. Ir. Dewi Apri Astuti, M.S

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom.
NIP. 197501301998022001

Dekan

Sekolah Sains Data, Matematika dan Informatika:
Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom
NIP. 196607021993021001

Tanggal Ujian:
27 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. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2020 sampai bulan Agustus 2026 ini ialah kecerdasan komputasi dalam bidang peternakan, dengan judul “Model *Cascading* SOM-ANN untuk Memprediksi Perubahan Fisiologis Sapi akibat Stres Perjalanan”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Agus Bueno, M.Si., M.Kom., Dr. Shelvie Nidya Neyman, S.Kom., M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Dewi Apri Astuti, M.S yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pimpinan sidang Prof. Dr. Ir. Endar Hasafah Nugrahani, M.S, ketua program studi doktor ilmu komputer Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si, M.Kom, komisi pembimbing luar 1 Dr. Aziz Kustiyo, S.Si., M.Kom, komisi pembimbing luar 2 Dr. Alusyanti Primawati, S.Kom., M.Kom. pimpinan sidang ujian tertutup Prof. Dr. Anang Kurnia, S.Si., M.Si. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Dr. Rudi Afnan, S.Pt., M.Sc sebagai penguji luar dalam ujian lisan, bapak Afri, S.Pt. dari mitra tani farm, beserta staf Kokom Komalasari, S. Pt. M.Si. dari Laboratorium Nutrisi Ternak, Daging, dan Ternak Kerja, Mahasiswa Martin dan Olivia Farahmanadia yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, serta seluruh keluarga Tarigan yang ikut dalam proses perjalanan pengiriman sapi serta keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

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

Bogor, Agustus 2026

Harry Dhika

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Transportasi Ternak Sapi	7
2.2 Stres Perjalanan Pada Sapi	8
2.3 Perubahan Fisiologis pada Sapi Akibat Stres Perjalanan	12
2.4 <i>Machine learning</i>	14
2.5 <i>Self Organizing Map (SOM)</i>	19
2.6 <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	20
2.7 <i>Random Forest Regressor (RFR)</i>	21
2.8 <i>Support Vector Regression (SVR)</i>	22
2.9 Evaluasi Model	23
2.10 Penelitian Terdahulu	24
2.11 <i>Research Gap</i> dan Kebaruan Penelitian	25
III METODE	27
3.1 Alur Penelitian	27
3.2 Kerangka Penelitian	28
3.3 Waktu dan lokasi penelitian	29
3.4 Data Penelitian	30
3.5 Tahapan penelitian	32
3.6 Pengembangan Model Pembandingan	33
3.7 <i>Hyperparameter tuning</i>	34
3.8 Pengembangan model <i>cascading</i> SOM–ANN	35
3.9 Evaluasi dan Komparasi Model	36
3.10 Bahan dan alat	37
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Gambaran umum data penelitian	40
4.2 Hasil pembentukan profil perubahan fisiologis menggunakan SOM	41
4.3 Pengembangan dan evaluasi model prediksi	51
4.4 Komparasi seluruh model	63
4.5 Analisis SHAP	68
4.6 Implementasi strategi hasil model	71
V SIMPULAN DAN SARAN	74
DAFTAR PUSTAKA	76
RIWAYAT HIDUP	83

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	Perubahan mekanisme aktifitas karena pengaruh suhu	8
2	Rerata perubahan kondisi fisiologis, hematologi dan bobot badan sapi Bali bibit yang diantarpulaukan dari pulau Lombok ke Kalbar	10
3	Stres sapi sebelum dan sesudah <i>loading</i>	10
4	Daftar penelitian stres perjalanan sapi	11
5	<i>Gap</i> penelitian dalam <i>machine learning</i>	15
6	Penelitian SOM-ANN terdahulu	26
7	Karakteristik lokasi pengambilan data penelitian	29
8	Operasional data	30
9	Variabel penelitian yang digunakan	31
10	Statistik deskriptif <i>dataset</i> penelitian	40
11	Parameter SOM	41
12	Distribusi data dalam SOM <i>cluster 2</i> dan <i>cluster 3</i>	44
13	Hasil pembentukan <i>cluster</i> SOM	46
14	Perbandingan hasil evaluasi kualitas SOM (3 <i>cluster</i> vs 2 <i>cluster</i>)	46
15	Hubungan lama perjalanan dengan susut bobot pada SOM 2 <i>cluster</i>	49
16	Hubungan antara lama perjalanan dengan susut bobot	51
17	Hasil perbandingan ANN, RFR dan SVR <i>baseline</i>	52
18	Konfigurasi <i>hyperparameter</i> yang digunakan	53
19	Model terbaik <i>hyperparameter tuning</i> data pelatihan (<i>training</i>)	54
20	Perbandingan nilai R^2 model terbaik pada data pelatihan (<i>training</i>)	54
21	Perbandingan kinerja model terbaik pada data pengujian (<i>testing</i>)	55
22	Perbandingan nilai R^2 model terbaik pada data pengujian (<i>Testing</i>)	55
23	Peningkatan nilai R^2 <i>baseline</i> dan <i>hyperparameter tuning</i>	56
24	Data persentase susut bobot SOM-ANN 2 <i>cluster</i>	59
25	Data frekuensi napas sampai SOM-ANN 2 <i>cluster</i>	60
26	Data glukosa sampai SOM-ANN 2 <i>cluster</i>	60
27	Data kreatinin sampai SOM-ANN 2 <i>cluster</i>	61
28	Hasil <i>cascading</i> SOM-ANN prediksi persentase susut bobot 3 <i>cluster</i>	61
29	Hasil <i>cascading</i> SOM-ANN pada prediksi napas sampai	62
30	Hasil <i>cascading</i> SOM-ANN pada prediksi data glukosa sampai	62
31	Hasil <i>cascading</i> SOM-ANN pada prediksi data kreatinin sampai	63
32	Komparasi kinerja seluruh model prediksi persentase susut bobot	63
33	Komparasi kinerja model prediksi frekuensi napas sampai	65
34	Komparasi kinerja model prediksi glukosa sampai	66
35	Komparasi kinerja model prediksi kreatinin sampai	67
36	Ringkasan pola keempat target prediksi (seluruh model)	67

@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 GAMBAR

1	Mekanisme perombakan bobot badan sapi turun	12
2	Respons fisiologis dan metabolik sapi terhadap <i>heat Stres</i> sebagai salah satu komponen stres transportasi	13
3	Gambar peta penelitian SOM-ANN	25
4	Tahapan penelitian	27
5	Alur pengambilan data lapangan	28
6	Kerangka penelitian	28
7	Peta perjalanan lokasi pengambilan data sapi	30
8	Skema uji penerapan data	
9	Model pembandingan 3 algoritma dengan 2 kelompok	34
10	Model <i>cascading</i> SOM-ANN 3 <i>cluster</i>	36
11	Evaluasi model terhadap seluruh algoritma	37
12	Matrix korelasi	41
13	Visualisasi <i>u-matrix</i> SOM 2 dimensi	42
14	Visualisasi <i>u-matrix</i> SOM 3 dimensi	43
15	Visualisasi <i>hit map</i> 2 dimensi	43
16	Visualisasi <i>hit map</i> 3 dimensi	44
17	<i>Componen plane</i> pada variabel bobot awal SOM 2 <i>cluster</i>	45
18	<i>Componen Plane</i> pada variabel bobot awal SOM 3 <i>cluster</i>	45
19	Karakteristik profil perubahan fisiologis pada SOM 2 <i>cluster</i>	48
20	Karakteristik profil perubahan fisiologis pada SOM 3 <i>cluster</i>	49
21	SOM dengan 2 <i>cluster</i>	57
22	SOM dengan 3 <i>cluster</i>	57
23	Arsitektur ANN	57
24	Detail model <i>cascading</i> SOM-ANN	59
25	SHAP <i>summary plot</i> model <i>cascading</i> SOM-ANN untuk prediksi persentase susut bobot sapi	68
26	SHAP <i>feature importance</i> model <i>cascading</i> SOM-ANN untuk prediksi frekuensi napas sampai	69
27	SHAP <i>summary plot</i> model <i>cascading</i> SOM-ANN untuk prediksi glukosa sampai	70
28	SHAP <i>summary plot</i> model <i>cascading</i> SOM-ANN untuk prediksi kadar kreatinin saat sampai	71

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.