



SKRIPSI

**OPTIMASI CATBOOST DENGAN ALGORITMA
SELF ADAPTIVE EMPEROR PENGUIN OPTIMIZER
(SA-EPO) UNTUK PREDIKSI KONSUMSI ENERGI
PENDINGINAN BANGUNAN**

MUTIARA FADHILATUZZAHRO
NPM 21081010205

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Basuki Rahmat, S.Si, MT.
Retno Mumpuni, S.Kom., M.Sc

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2026**

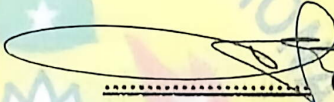
LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI CATBOOST DENGAN ALGORITMA SELF ADAPTIVE EMPEROR PENGUIN OPTIMIZER (SA-EPO) UNTUK PREDIKSI KONSUMSI ENERGI PENDINGINAN BANGUNAN

Oleh :
MUTIARA FADHILATUZZAHRO
NPM. 21081010205

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada tanggal
11 Desember 2025.

Dr. Basuki Rahmat, S.Si. MT.
NIP. 19690723 202121 1 002


..... (Pembimbing I)

Retno Mumpuni, S.Kom., M.Sc
NIP. 198707162025212045


..... (Pembimbing II)

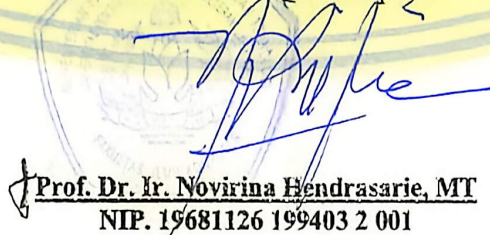
Fetty Tri Anggraeny, S.Kom. M.Kom
NIP. 19820211 202121 2 005


..... (Ketua Penguji)

Firza Prima Aditiawan, S.Kom., MTI
NIP. 19860523 202121 1 003


..... (Anggota Penguji)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu Komputer


Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT
NIP. 19681126 199403 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

**OPTIMASI CATBOOST DENGAN ALGORITMA SELF
ADAPTIVE EMPEROR PENGUIN OPTIMIZER (SA-EPO) UNTUK
PREDIKSI KONSUMSI ENERGI PENDINGINAN BANGUNAN**

Oleh :
MUTIARA FADHILATUZZAHRO
NPM. 21081010205



Menyetujui,
Koordinator Program Studi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer

Fetty Tri Anggraeny, S.Kom. M.Kom
NIP. 19820211 202121 2 005

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Mutiara Fadhilatuzzahro
NPM : 21081010205
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Informatika
Fakultas : Ilmu Komputer

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 19 Januari 2026
Yang Membuat Pernyataan,



Mutiara Fadhilatuzzahro
NPM. 21081010205

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Mutiara Fadhilatuzzahro / 21081010205
Judul Skripsi : Optimasi CatBoost dengan Algoritma Self Adaptive Emperor Penguin Optimizer (SA-EPO) untuk Prediksi Konsumsi Energi Pendinginan Bangunan
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Basuki Rahmat, S.Si., M.T
2. Retno Mumpuni, S.Kom., M.Sc

Sektor bangunan saat ini menjadi salah satu penyumbang terbesar konsumsi energi di dunia dengan energi pendinginan bangunan menunjukkan laju peningkatan yang jauh lebih cepat dibandingkan konsumsi energi lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi konsumsi energi pendinginan pada bangunan menggunakan model CatBoost yang dioptimasi dengan algoritma Self-Adaptive Emperor Penguin Optimizer (SA-EPO) dalam mendukung pengurangan konsumsi energi jangka panjang. Tahapan penelitian mencakup prapemrosesan data, pengembangan model CatBoost, serta optimasi hyperparameter. Evaluasi model dilakukan menggunakan dua teknik validasi, yaitu Hold-Out dan Time Series Split Cross-Validation dengan metrik RMSE, MAE, MSE, dan R^2 untuk mengukur performa model. Hasil menunjukkan bahwa SA-EPO secara konsisten meningkatkan performa CatBoost. Pada validasi Hold-Out, SA-EPO menurunkan RMSE dari 0.2957 menjadi 0.2858 serta meningkatkan R^2 dari 0.9350 menjadi 0.9393. Sementara itu, pada Time Series Split CV, SA-EPO menghasilkan RMSE terendah 0.2659 dan R^2 tertinggi 0.9492, lebih baik daripada model standar maupun algoritma optimasi pembandingan. Dapat disimpulkan bahwa SA-EPO terbukti efektif dalam mengoptimasi hyperparameter CatBoost dan mampu meningkatkan akurasi prediksi konsumsi energi pendinginan bangunan.

Kata kunci: Konsumsi Energi Pendinginan Bangunan, Optimasi Hyperparameter, CatBoost, SA-EPO, Prediksi, Pembelajaran Mesin.

ABSTRACT

Student Name / NPM : Mutiara Fadhilatuzzahro / 21081010205
Thesis Title : CatBoost Optimization with Self Adaptive EmperorPenguin Optimizer (SA-EPO) Algorithm for Building Cooling Energy Consumption Prediction
Advisor : 1. Dr. Basuki Rahmat, S.Si., M.T
2. Retno Mumpuni, S.Kom., M.Sc

The building sector is currently one of the largest contributors to global energy consumption, with cooling energy use in buildings showing a much faster growth rate compared to other types of energy consumption. This study aims to develop a predictive model for building cooling energy consumption using a CatBoost model optimized with the Self-Adaptive Emperor Penguin Optimizer (SA-EPO) algorithm to support long-term energy reduction efforts. The research stages include data preprocessing, CatBoost model development, and hyperparameter optimization. The model was evaluated using two validation techniques Hold-Out and Time Series Split Cross-Validation employing RMSE, MAE, MSE, and R^2 as performance metrics. The results show that SA-EPO consistently improves CatBoost performance. In the Hold-Out validation, SA-EPO reduced the RMSE from 0.2957 to 0.2858 and increased the R^2 from 0.9350 to 0.9393. Meanwhile, in the Time Series Split CV, SA-EPO achieved the lowest RMSE of 0.2659 and the highest R^2 of 0.9492, outperforming both the standard model and other comparative optimization algorithms. It can be concluded that SA-EPO is effective in optimizing CatBoost hyperparameters and is capable of enhancing the accuracy of building cooling energy consumption predictions.

Keywords: *Building Cooling Energy Consumption, Hyperparameter Optimization, CatBoost, SA-EPO, Prediction, Machine Learning.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Optimasi CatBoost dengan Algoritma Self Adaptive Emperor Penguin Optimizer (SA-EPO) untuk Prediksi Konsumsi Energi Pendinginan Bangunan”** dapat terselesaikan dengan baik. Laporan ini diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan kelulusan dalam penyelesaian program Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Penyelesaian laporan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan banyak masukan, nasihat, saran, kritik dan dukungan moral maupun materil kepada penulis. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat melimpah yang telah engkau berikan.
2. Kedua orang tua yang selalu memberikan segala dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
4. Ibu Fetty Tri Anggraeny, S.Kom., M.Kom., selaku Koordinator Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
5. Bapak Dr. Basuki Rahmat, S.Si., MT., selaku dosen pembimbing pertama dan Ibu Retno Mumpuni, S.Kom., M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua.
6. Ibu Dr. Ir. Kartini, S.Kom., M.T., selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Teman teman S1 Teknik Informatika Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur terkhusus untuk angkatan 2021 yang telah hadir, menemani, serta membantu dalam proses pengerjaan skripsi.
8. Pihak-pihak lain yang tidak disebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan banyak kepada penulis.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan balasan yang setimpal kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan bimbingan serta nasehat dalam proses penyelesaian skripsi penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat berbagai kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak guna menyempurnakan penulisan skripsi ini. Pada akhirnya, dengan segala keterbatasan yang dimiliki, penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak secara umum serta bagi penulis sendiri secara khusus.

Surabaya, 16 Januari 2026

Mutiara Fadhilatuzzahro
NPM 21081010205

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Penelitian Terdahulu	9
2.2 Konsumsi Energi pada Bangunan	16
2.3 Energi Pendinginan Bangunan.....	17
2.4 Efisiensi Energi pada Bangunan	17
2.5 Model Prediksi	19
2.6 Machine Learning	19
2.7 Ensemble Learning.....	20
2.7.1 Boosting.....	20
2.7.2 Bagging	21

2.7.3	Stacking	21
2.8	CatBoost.....	22
2.9	Metrik Evaluasi	31
2.9.1	RMSE (Root Mean Squared Error)	31
2.9.2	MAE (Mean Absolute Error).....	32
2.9.3	MSE (Mean Squared Error).....	32
2.9.4	R-Squared (koefisien determinasi)	33
2.10	Feature Engineering	33
2.11	Hyperparameter Tuning	35
2.12	Optimasi	36
2.13	Algoritma Metaheuristik	36
2.13.1	Self-Adaptive Emperor Penguin Optimizer (SA-EPO).....	38
2.13.2	Aquila Optimizer (AO)	43
2.14	Time Series Split Cross Validation	46
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM		47
3.1	Tahapan Penelitian	47
3.2	Identifikasi Masalah	47
3.3	Studi Literatur	48
3.4	Pengumpulan Data	48
3.5	Prapemrosesan Data	50
3.5.1	Pengecekan Data Duplikat	50
3.5.2	Pengecekan Data yang Hilang (Missing Values)	51
3.5.3	Feature Engineering.....	51
3.6	Pengembangan Model.....	53
3.6.1	Rancangan Model CatBoost	54
3.6.2	Rancangan Algoritma SA-EPO.....	59

3.7	Pengujian Model	65
3.8	Analisis Hasil dan Evaluasi.....	71
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA		73
4.1	Prapemrosesan Data	73
4.1.1	Pengecekan Data Duplikat	73
4.1.2	Pengecekan Data yang Hilang (Missing Value).....	74
4.1.3	Feature Engineering.....	74
4.2	Pengembangan Model.....	78
4.2.1	CatBoost	80
4.2.2	Self-Adaptive Emperor Penguin Optimizer (SA-EPO).....	81
4.2.3	Emperor Penguin Optimizer (EPO).....	86
4.2.4	Aquila Optimizer (AO)	88
4.3	Pengujian Model	92
4.4	Hasil Pengujian Model CatBoost	98
4.4.1	Skenario Pembagian Data 60 : 20 : 20	99
4.4.2	Skenario Pembagian Data 70 : 15 : 15	103
4.4.3	Skenario Pembagian Data 80 : 10 : 10	107
4.4.4	Skenario Pembagian Data 70 : 30	111
4.4.5	Skenario Pembagian Data 75 : 25	113
4.4.6	Skenario Pembagian Data 80 : 20	116
4.4.7	Perbandingan Hasil Seluruh Skenario Pembagian Data.....	118
4.5	Hasil Pengujian Model CatBoost-SAEPO	120
4.6	Hasil Pengujian Model CatBoost-EPO	123
4.7	Hasil Pengujian Model CatBoost-AO	125
4.8	Perbandingan Hasil Pengujian Seluruh Model	128
4.9	Implementasi Hasil Model Melalui Graphical User Interface (GUI)	131

BAB V PENUTUP.....	134
5.1 Kesimpulan	134
5.2 Saran.....	136
DAFTAR PUSTAKA.....	137
LAMPIRAN.....	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Tree pada Model CatBoost.....	22
Gambar 2. 2 Flowchart Model Catboost	25
Gambar 2. 3 Flowchart Algoritma Emperor Penguin Optimizer (EPO).....	38
Gambar 2. 4 Flowchart Algoritma SA-EPO	41
Gambar 2. 5 Flowchart Algoritma Aquila Optimizer (AO).....	43
Gambar 2. 6 Ilustrasi Perbandingan Skema Pembagian Data pada K-Fold Cross Validation dan Time Series Split K-Fold Cross Validation.....	46
Gambar 3. 1 Alur Tahapan Penelitian.....	47
Gambar 3. 2 Sampel Dataset	49
Gambar 3. 3 Alur Prapemrosesan Data.....	50
Gambar 3. 4 Rancangan Model Utama	53
Gambar 3. 5 Contoh Decision Tree.....	58
Gambar 3. 6 Alur Pengujian Model CatBoost	65
Gambar 4. 1 Output Pengecekan Data Duplikat	73
Gambar 4. 2 Output Pengecekan Data Hilang	74
Gambar 4. 3 Feature Engineering pada Dataset.....	75
Gambar 4. 4 Feature Engineering pada Dataset (2)	76
Gambar 4. 5 Feature Engineering pada Dataset (3)	77
Gambar 4. 6 Sampel Dataset Setelah Tahap Prapemrosesan Data	77
Gambar 4. 7 Sampel Dataset Setelah Tahap Prapemrosesan Data (2).....	78
Gambar 4. 8 Ilustrasi Pembagian Data pada Skema Time Series Split CV	95
Gambar 4. 9 Pembagian Data dengan Rasio 60 : 20 : 20.....	99
Gambar 4. 10 Kurva RMSE Pelatihan Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 60 : 20 : 20	100

Gambar 4. 11 Hasil Metrik Evaluasi Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 60 : 20 : 20.....	101
Gambar 4. 12 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Nilai Aktual pada Skema Validasi Hold-Out Rasio 60 : 20 : 20.....	102
Gambar 4. 13 Pembagian Data dengan Rasio 70 : 15 : 15.....	104
Gambar 4. 14 Kurva RMSE Pelatihan Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 70 : 15 : 15.....	104
Gambar 4. 15 Hasil Metrik Evaluasi Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 70 : 15 : 15.....	105
Gambar 4. 16 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Nilai Aktual pada Skema Validasi Hold-Out Rasio 70 : 15 : 15.....	106
Gambar 4. 17 Pembagian Data dengan Rasio 80 : 10 : 10.....	107
Gambar 4. 14 Kurva RMSE Pelatihan Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 80 : 10 : 10.....	108
Gambar 4. 19 Hasil Metrik Evaluasi Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 80 : 10 : 10.....	109
Gambar 4. 20 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Nilai Aktual pada Skema Validasi Hold-Out Rasio 80 : 10 : 10.....	110
Gambar 4. 21 Pembagian Data dengan Rasio 70 : 30.....	111
Gambar 4. 22 Hasil Metrik Evaluasi Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 70 : 30	111
Gambar 4. 23 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Nilai Aktual pada Skema Validasi Time Series Split CV Rasio 70 : 30.....	112
Gambar 4. 24 Pembagian Data dengan Rasio 75 : 25.....	114
Gambar 4. 25 Hasil Metrik Evaluasi Model CatBoost dengan Rasio Pembagian Data 75 : 25	114
Gambar 4. 26 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Nilai Aktual pada Skema Validasi Time Series Split CV Rasio 75 : 25.....	115

Gambar 4. 27 Pembagian Data dengan Rasio 80 : 20.....	116
Gambar 4. 28 Hasil metrik evaluasi model CatBoost dengan Validasi Time Series Split CV Rasio 80 : 20	117
Gambar 4. 29 Perbandingan Hasil Prediksi dengan Nilai Aktual pada Skema Validasi Time Series Split CV Rasio 80 : 20.....	118
Gambar 4. 22 Tampilan GUI untuk Aplikasi Model Prediksi	132
Gambar 4. 23 Tampilan GUI untuk Aplikasi Model Prediksi (2)	132

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hyperparameter CatBoost.....	24
Tabel 3. 1 Atribut dataset	49
Tabel 3. 2 Contoh pembuatan fitur lag.....	51
Tabel 3. 3 Contoh pembuatan fitur lag (2)	52
Tabel 3. 4 Contoh pembuatan fitur diff.....	52
Tabel 3. 5 Contoh pembuatan fitur diff (2)	53
Tabel 3. 6 Contoh data untuk perhitungan CatBoost	54
Tabel 3. 7 Hasil prediksi awal.....	55
Tabel 3. 8 Hasil residual awal	55
Tabel 3. 9 Data pada fitur kategorikal.....	55
Tabel 3. 10 Hasil encoding.....	56
Tabel 3. 11 Hasil prediksi baru	59
Tabel 3. 12 Data penguin dalam populasi (1)	60
Tabel 3. 13 Nilai fitness setiap penguin dalam populasi.....	60
Tabel 3. 14 Nilai baru untuk parameter kontrol f.....	61
Tabel 3. 15 Data penguin dalam populasi (2)	64
Tabel 3. 16 Skenario pengujian.....	66
Tabel 3. 17 Pengaturan Hyperparameter CatBoost terhadap Performa Model.....	67
Tabel 3. 18 Skenario pengujian utama	68
Tabel 3. 19 Sampel Data Uji untuk Contoh Perhitungan Metrik Evaluasi	69
Tabel 3. 20 Kriteria Penilaian Metrik	72
Tabel 4. 1 Pengaturan parameter pada setiap algoritma optimasi.....	96
Tabel 4. 2 Hyperparameter CatBoost yang dioptimasi	96
Tabel 4. 3 Daftar hyperparameter default CatBoost	98

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Awal Model CatBoost pada Seluruh Skenario Rasio Pembagian Data	119
Tabel 4.5 Hasil Optimasi Hyperparameter CatBoost dengan SA-EPO pada Skema Hold-Out	120
Tabel 4. 6 Hasil metrik evaluasi model CatBoost-SAEPO dengan validasi Hold-Out.....	121
Tabel 4. 7 Hasil Optimasi Hyperparameter CatBoost dengan SA-EPO pada Skema Time Series Split CV	121
Tabel 4. 8 Hasil metrik evaluasi model CatBoost-SAEPO dengan validasi Time Series Split CV	122
Tabel 4. 9 Hasil Optimasi Hyperparameter CatBoost dengan EPO pada Skema Hold-Out	123
Tabel 4. 10 Hasil metrik evaluasi model CatBoost-EPO dengan validasi Hold-Out	123
Tabel 4. 11 Hasil Optimasi Hyperparameter CatBoost dengan EPO pada Skema Time Series Split CV	124
Tabel 4. 12 Hasil metrik evaluasi model CatBoost-EPO dengan validasi Time Series Split CV	125
Tabel 4. 13 Hasil Optimasi Hyperparameter CatBoost dengan AO pada Skema Hold-Out	126
Tabel 4. 14 Hasil metrik evaluasi model CatBoost-AO dengan validasi Hold-Out	126
Tabel 4. 15 Hasil Optimasi Hyperparameter CatBoost dengan AO pada Skema Time Series Split CV	127
Tabel 4. 16 Hasil metrik evaluasi model CatBoost-AO dengan validasi Time Series Split CV	128
Tabel 4. 17 Hasil Metrik Evaluasi pada Validasi Hold-Out	129
Tabel 4. 18 Hasil Metrik Evaluasi pada Skema Time Series Split CV	130