



SKRIPSI

**SELEKSI FITUR DAN OPTIMASI
HYPERPARAMETER PADA MODEL CATBOOST
MENGUNAKAN PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION UNTUK KLASIFIKASI TINGKAT
HIPERTENSI**

MUHAMMAD IQBAL AL AFGANY

NPM 21081010330

DOSEN PEMBIMBING

Dr. RR Ani Dijah Rahajoe, ST, M.Cs

Henni Endah Wahanani, ST, M.Kom

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2025**



SKRIPSI

SELEKSI FITUR DAN OPTIMASI HYPERPARAMETER PADA MODEL CATBOOST MENGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK KLASIFIKASI TINGKAT HIPERTENSI

MUHAMMAD IQBAL AL AFGANY
NPM 21081010330

DOSEN PEMBIMBING

Dr. RR Ani Dijah Rahajoe, ST, M.Cs
Henni Endah Wahanani, ST, M.Kom

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

SELEKSI FITUR DAN OPTIMASI HYPERPARAMETER PADA MODEL CATBOOST MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK KLASIFIKASI TINGKAT HIPERTENSI

Oleh :

MUHAMMAD IQBAL AL AFGANY
NPM.21081010330

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada
tanggal 21 November 2025.

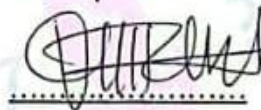
Menyetujui,

Dr. RR Ani Dijah Rahajoe, ST, M.Cs
NIP. 19730512 200501 2 003



(Pembimbing I)

Henni Endah Wahanani, ST. M.Kom.
NIP. 19780922 202121 2 005



(Pembimbing II)

Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom
NIP. 19890705 202121 2 002



(Ketua Penguji)

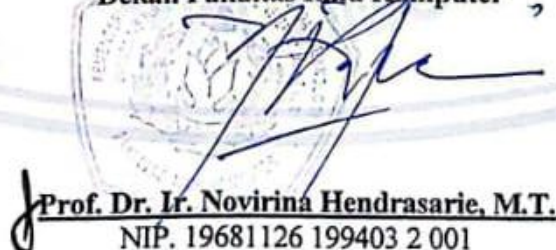
Yisti Vita Via, S.ST., M.Kom.
NIP. 19860425 202121 2 001



(Anggota Penguji)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Ilmu Komputer



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

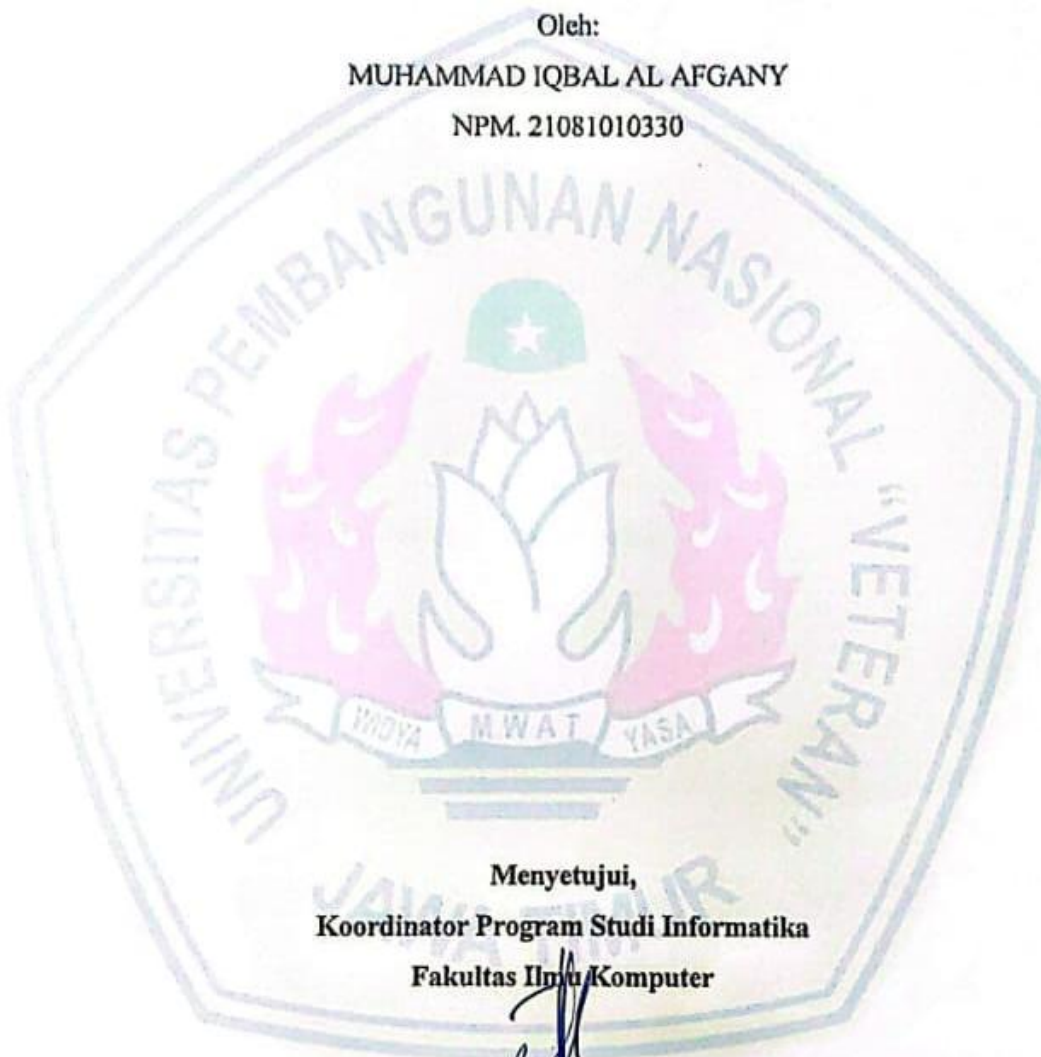
LEMBAR PERSETUJUAN

**SELEKSI FITUR DAN OPTIMASI HYPERPARAMETER PADA MODEL
CATBOOST MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
UNTUK KLASIFIKASI TINGKAT HIPERTENSI**

Oleh:

MUHAMMAD IQBAL AL AFGANY

NPM. 21081010330



**Menyetujui,
Koordinator Program Studi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer**

A handwritten signature in blue ink, belonging to Fetty Tri Anggraeny, is written over the text of the coordinator's name.

Fetty Tri Anggraeny, S.Kom., M.Kom

NIP. 19820211 2021212 005

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal Al Afgany
NPM : 21081010330
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, 3 Desember 2025
Yang Membuat Pernyataan,



Muhammad Iqbal Al Afgany
NPM. 21081010330

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Muhammad Iqbal Al Afgany / 21081010330

Judul Skripsi : Seleksi Fitur dan Optimasi Hyperparameter
Pada Model Catboost Menggunakan Particle
Swarm Optimization Untuk Klasifikasi
Tingkat Hipertensi

Dosen Pembimbing : 1. Dr. RR Ani Dijah Rahajoe, ST, M.Cs
2. Henni Endah Wahanani, ST, M.Kom

Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan Particle Swarm Optimization (PSO) sebagai metode seleksi fitur dan optimasi hyperparameter pada model CatBoost untuk meningkatkan akurasi klasifikasi tingkat hipertensi, serta mengetahui pengaruh penggunaan PSO terhadap peningkatan kinerja model. Dataset penelitian terdiri dari data primer sebanyak 191 data dari Puskesmas Kepatihan Gresik dan data sekunder sebanyak 12.500 data dari Kaggle yang digabungkan menjadi 12.691 data dengan 11 fitur. Pembagian data dilakukan dengan rasio 80:10:10 untuk training, validation, dan testing. Eksperimen dilakukan dengan menguji 81 skenario kombinasi parameter PSO yang mencakup $n_particles$ (30, 40, 50), w (0.4, 0.73, 0.9), $c1$ (0.2, 0.5, 1.49), dan $c2$ (1, 1.49, 1.6) untuk mengoptimalkan hyperparameter CatBoost seperti $depth$, $learning_rate$, dan $l2_leaf_reg$. Model dievaluasi menggunakan metrik accuracy, precision, recall, dan F1-score. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model CatBoost-PSO memberikan peningkatan signifikan dengan akurasi berkisar 95,59%-96,30% (rata-rata 95,92%) dibandingkan model baseline yang hanya mencapai 94%. Konfigurasi optimal diperoleh pada $n_particles = 40$, $c1 = 0.5$, $c2 = 1$, $w = 0.4$ dengan akurasi tertinggi 96,30%, dimana PSO berhasil mereduksi fitur dari 11 menjadi 3 fitur utama (Jenis Kelamin, Sistolik, Diastolik) dengan hyperparameter optimal $depth = 6$, $learning_rate = 0.064$, dan $l2_leaf_reg = 1$. Parameter $n_particles$ menunjukkan pengaruh paling signifikan terhadap performa dengan efisiensi komputasi terbaik pada $n_particles = 30$ (1576,87 detik), sedangkan parameter $c2$ menunjukkan konsistensi akurasi pada berbagai nilai meskipun waktu komputasi bervariasi.

Kata Kunci Hipertensi, CatBoost, Particle Swarm Optimization, Seleksi Fitur, Optimasi Hyperparameter, Klasifikasi Multi-class

ABSTRACT

Nama Mahasiswa / NPM : Muhammad Iqbal Al Afgany / 21081010330

Judul Skripsi : Feature Selection and Hyperparameter Optimization in CatBoost Model Using Particle Swarm Optimization for Hypertension Level Classification

Dosen Pembimbing : 1. Dr. RR Ani Dijah Rahajoe, ST, M.Cs
2. Henni Endah Wahanani, ST, M.Kom

This study aims to implement Particle Swarm Optimization (PSO) as a feature selection and hyperparameter optimization method for the CatBoost model to enhance hypertension classification accuracy and determine the effect of PSO implementation on model performance improvement. The research dataset consists of primary data comprising 191 records from Puskesmas Kepatihan Gresik and secondary data comprising 12,500 records from Kaggle, combined into 12,691 records with 11 features. Data splitting was performed with an 80:10:10 ratio for training, validation, and testing. Experiments were conducted by testing 81 scenario combinations of PSO parameters including *n_particles* (30, 40, 50), *w* (0.4, 0.73, 0.9), *c1* (0.2, 0.5, 1.49), and *c2* (1, 1.49, 1.6) to optimize CatBoost hyperparameters such as *depth*, *learning_rate*, and *l2_leaf_reg*. The model was evaluated using accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. The test results showed that the CatBoost-PSO model provided significant improvement with accuracy ranging from 95.59%-96.30% (average 95.92%) compared to the baseline model which only achieved 94%. Optimal configuration was obtained at *n_particles* = 40, *c1* = 0.5, *c2* = 1, *w* = 0.4 with the highest accuracy of 96.30%, where PSO successfully reduced features from 11 to 3 main features (Gender, Systolic, Diastolic) with optimal hyperparameters *depth* = 6, *learning_rate* = 0.064, and *l2_leaf_reg* = 1. The *n_particles* parameter showed the most significant influence on performance with the best computational efficiency at *n_particles* = 30 (1576.87 seconds), while the *c2* parameter demonstrated accuracy consistency across various values despite computational time variations.

Kata Kunci : Hypertension, CatBoost, Particle Swarm Optimization, Feature Selection, Hyperparameter Optimization, Multi-class Classification

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Seleksi Fitur dan Optimasi Hyperparameter pada Model CatBoost Menggunakan Particle Swarm Optimization untuk Klasifikasi Tingkat Hipertensi”** dengan baik.

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, M.MT., selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
3. Ibu Fetty Tri Anggraeny, S.Kom. M.Kom selaku Ketua Program Studi Informatika Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “ Veteran “ Jawa Timur.
4. Ibu Dr. Rr. Ani Dijah Rahajoe, ST., M.Cs. selaku Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Henni Endah Wahanani, ST, M.Kom. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan kesempatan bagi penulis untuk melakukan penelitian, dengan sabar membimbing, memberikan arahan, serta motivasi selama penyusunan skripsi ini.
5. Dosen-dosen Program Studi Informatika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang berperan penting dalam masa studi saya sebagai mahasiswa.
6. Kedua orang tua penulis yang selalu menjadi sumber semangat, doa, dan dukungan tanpa henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan lancar dan penuh makna.
7. Safi, Feno, Dicky, Dodek, Alex, Richard, Aldi, Irsyad, Lana, Ammar, Toriq, Surya, Rengga, selaku sahabat terbaik penulis yang selalu hadir dalam suka dan duka, memberi semangat tanpa pamrih, serta menjadi tempat berbagi tawa, cerita, dan energi positif di setiap fase perjalanan ini. Terima kasih sudah menjadi bagian dari kisah hidup yang tidak akan pernah penulis

lupakan. Kalian bukan cuma teman, tapi rumah dalam bentuk manusia.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan. Untuk itu, masukan dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan di masa yang akan datang. Penulis juga berharap semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca secara luas, serta menjadi pengalaman berharga bagi penulis sendiri.

Surabaya, 3 Desember 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Muhammad Iqbal Al Afgany', written in a cursive style.

Muhammad Iqbal Al Afgany

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	vi
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	viii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xii
KATA PENGANTAR.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Hipertensi	9
2.2.1 Faktor Risiko Hipertensi.....	10
2.3 Machine Learning.....	14
2.4 Supervised Learning	14
2.5 Klasifikasi.....	15
2.6 Boosting Algorithm	15
2.7 Categorical Boosting (CatBoost).....	16

2.8	Seleksi Fitur	19
2.9	Particle Swarm Optimization (PSO)	20
2.9.1	Komponen Particle Swarm Optimization.....	20
2.9.2	Proses Algoritma PSO	21
2.9.3	Fitness Partikel PSO	23
2.10	Confusion Matrix.....	23
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM		27
3.1	Alur Penelitian.....	27
3.2.	Studi Literatur.....	27
3.3.	Pengumpulan Data.....	28
3.4	<i>Pre-processing Data</i>	29
3.4.1	<i>Data Cleaning</i>	30
3.4.2	<i>Data Transformation</i>	30
3.4.3	<i>Splitting Data</i>	31
3.5	Membangun Model	31
3.5.1	Input Data	32
3.5.2	Algoritma Catboost	34
3.5.3	Seleksi Fitur dan Optimasi Hyperparameter	50
3.5.4	Final Training Model.....	66
3.5.5	Evaluasi Model.....	69
3.6	Skenario Pengujian	71
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA		75
4.1	Pengumpulan Data	75
4.2	Preprocessing Data.....	76
4.2.1	Data Cleaning	77
4.2.2	Data Transformation.....	79

4.2.3	Splitting Data.....	81
4.3	Membangun Model PSO - Catboost.....	84
4.3.2	Konfigurasi PSO.....	87
4.3.3	Pelatihan Model.....	92
4.4	Evaluasi Model	95
4.4.1	Evaluasi Model Skenario Pengujian 1	96
4.4.2	Evaluasi Model Skenario Pengujian 2.....	100
4.4.3	Evaluasi Model Skenario Pengujian 3.....	104
4.4.4	Evaluasi Model Skenario Pengujian 4.....	108
4.4.5	Evaluasi Model Skenario Pengujian 5.....	113
4.4.6	Evaluasi Model Skenario Pengujian 6.....	118
4.4.7	Evaluasi Model Skenario Pengujian 7.....	123
4.4.8	Evaluasi Model Skenario Pengujian 8.....	128
4.4.9	Evaluasi Model Skenario Pengujian 9.....	133
4.4.10	Evaluasi Model Skenario Pengujian 10.....	137
4.4.11	Evaluasi Model Skenario Pengujian 11	142
4.4.12	Perbandingan Model CatBoost Baseline dengan Model CatBoost- PSO	146
4.4.13	Evaluasi Keseluruhan 81 Skenario Pengujian.....	149
4.5	Analisis	151
4.5.1	Analisis Jumlah Partikel ($n_particles$)	151
4.5.2	Analisis Nilai Inersia (w).....	154
4.5.3	Analisis Nilai Koefisien Kognitif ($c1$)	157
4.5.4	Analisis Nilai Koefisien Sosial ($c2$)	160
4.5.5	Kesimpulan Analisis Klasifikasi.....	163
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		167

5.1	Kesimpulan	167
5.2	Saran	167
DAFTAR PUSTAKA.....		169
LAMPIRAN.....		177

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep Algoritma Boosting.....	16
Gambar 2. 2 Alur Kerja CatBoost.....	17
Gambar 2. 3 Confusion Matrix	24
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Dataset Primer Pasien Hipertensi.....	28
Gambar 3. 3 Dataset Sekunder Pasien Hipertensi.....	28
Gambar 3. 4 Alur Pre-Processing Data.....	29
Gambar 3. 5 Alur Membangun Model.....	32
Gambar 3. 6 Alur Catboost	34
Gambar 3. 7 Alur Evaluasi Fitness CatBoost dalam PSO	45
Gambar 3. 8. Alur Seleksi Fitur dan Optimasi Hyperparameter.....	50
Gambar 4. 1 Dataset yang bersumber dari Puskesmas Kepatihan Gresik	75
Gambar 4. 2 Dataset yang bersumber dari Kaggle	75
Gambar 4. 3 Hasil Pengecekan Menghapus Kolom	78
Gambar 4. 4 Hasil Label Encoding.....	80
Gambar 4. 5 Distribusi Dataset	83
Gambar 4. 6 Hasil Seleksi Fitur dan Hyperparameter Terbaik.....	86
Gambar 4. 7 Confusion Matrix Skenario 1	97
Gambar 4. 8 Classification Report Skenario 1	98
Gambar 4. 9 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 1.....	99
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 1	100
Gambar 4. 11 Confusion Matrix Skenario 2	101
Gambar 4. 12 Classification Report Skenario 2.....	102
Gambar 4. 13 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 2.....	103
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 2	104
Gambar 4. 15 Confusion Matrix Skenario 3	105

Gambar 4. 16 Classification Report Skenario 3	106
Gambar 4. 17 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 3	107
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 3	108
Gambar 4. 19 Confusion Matrix Skenario 4	109
Gambar 4. 20 Classification Report Skenario 4	110
Gambar 4. 21 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 4	111
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 4	112
Gambar 4. 23 Confusion Matrix Skenario 5	114
Gambar 4. 24 Classification Report Skenario 5	115
Gambar 4. 25 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 5	116
Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 5	117
Gambar 4. 27 Confusion Matrix Skenario 6	119
Gambar 4. 28 Classification Report Skenario 6	120
Gambar 4. 29 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 6	121
Gambar 4. 30 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 6	122
Gambar 4. 31 Confusion Matrix Skenario 7	124
Gambar 4. 32 Classification Report Skenario 7	125
Gambar 4. 33 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 7	126
Gambar 4. 34 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 7	127
Gambar 4. 35 Confusion Matrix Skenario 8	129
Gambar 4. 36 Classification Report Skenario 8	130

Gambar 4. 37 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 8.....	131
Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 8	132
Gambar 4. 39 Confusion Matrix Skenario 9	134
Gambar 4. 40 Classification Report Skenario 9.....	135
Gambar 4. 41 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 9.....	136
Gambar 4. 42 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 9	137
Gambar 4. 43 Confusion Matrix Skenario 10	138
Gambar 4. 44 Classification Report Skenario 10.....	139
Gambar 4. 45 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 10.....	140
Gambar 4. 46 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 10	141
Gambar 4. 47 Confusion Matrix Skenario 11	143
Gambar 4. 48 Classification Report Skenario 11	144
Gambar 4. 49 Grafik Training dan Validation Accuracy Selama Proses Iterasi PSO-CatBoost Skenario 11.....	145
Gambar 4. 50 Grafik Perbandingan Akurasi Model CatBoost-PSO pada Dataset Training, Validation, dan Testing Skenario 11	146
Gambar 4. 51 Catboost Baseline.....	147
Gambar 4. 52 Catboost + PSO Best Model	147
Gambar 4. 53 Heatmap Distribusi Akurasi 81 Skenario Pengujian Model CatBoost-PSO	150
Gambar 4. 54 Perbandingan Akurasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi $n_particles$	152
Gambar 4. 55 Perbandingan Waktu Komputasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi $n_particles$	153
Gambar 4. 56 Perbandingan Akurasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi w (Inersia)	155

Gambar 4. 57 Perbandingan Waktu Komputasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi w (Inersia).....	156
Gambar 4. 58 Perbandingan Akurasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi c_1 (Koefisien Kognitif).....	158
Gambar 4. 59 Perbandingan Waktu Komputasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi c_1 (Koefisien Kognitif).....	159
Gambar 4. 60 Perbandingan Akurasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi c_2 (Koefisien Sosial).....	161
Gambar 4. 61 Perbandingan Waktu Komputasi Model CatBoost + PSO dengan Variasi c_2 (Koefisien Sosial)	162

DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Penelitian Terdahulu	7
Table 3. 1 Dataset Sebelum Dihapus Fitur	30
Table 3. 2 Dataset Sesudah Dihapus Fitur	30
Table 3. 3 Dataset Sebelum Dilakukan Label Encoding	31
Table 3. 4 Dataset Sesudah Dilakukan Label Encoding	31
Table 3. 5 Pembagian Dataset.....	32
Table 3. 6 Dataset Sampel untuk Perhitungan Manual	35
Table 3. 7 Probabilitas Prediksi Awal untuk Setiap Sampel.....	37
Table 3. 8 Perhitungan Gradien untuk Setiap Sampel	37
Table 3. 9 Perhitungan Hessian untuk Setiap Sampel.....	38
Table 3. 10 Total Gain untuk Split "Sistolik ≤ 120 "	40
Table 3. 11 Nilai Leaf untuk Tree Pertama.....	42
Table 3. 12 Prediksi Setelah Iterasi 1	43
Table 3. 13 Probabilitas dan Prediksi Final	44
Table 3. 14 Perbandingan Dual-Role CatBoost dalam Penelitian	46
Table 3. 15 Input-Output Fungsi Fitness CatBoost.....	47
Table 3. 16 Proses Decode Posisi Partikel menjadi Konfigurasi	48
Table 3. 17 Konfigurasi PSO untuk perhitungan manual	51
Table 3. 18 Pilihan Hyperparameter CatBoost	51
Table 3. 19 Data Training Untuk Perhitungan Manual.....	52
Table 3. 20 Data Validation Untuk Perhitungan Manual.....	53
Table 3. 21 Inisialisasi Partikel (Iterasi 1)	53
Table 3. 22 Konfigurasi Hasil Decode Partikel (Iterasi 1).....	55
Table 3. 23 Data Training Dengan Fitur Terpilih Partikel 1	56
Table 3. 24 Data Validation Dengan Fitur Terpilih Partikel 2	56
Table 3. 25 Data Training Dengan Fitur Terpilih Partikel 2.....	57
Table 3. 26 Data Validation Dengan Fitur Terpilih Partikel 2	58
Table 3. 27 Data Training Dengan Fitur Terpilih Partikel 3.....	59
Table 3. 28 Data Validation Dengan Fitur Terpilih Partikel 3	59

Table 3. 29 Hasil Evaluasi Partikel (Iterasi 1)	60
Table 3. 30 Update Partikel 1 ke Iterasi 2	62
Table 3. 31 Posisi Semua Partikel Setelah Update Iterasi 2	62
Table 3. 32 Konfigurasi Partikel (Iterasi 2)	64
Table 3. 33 Hasil Evaluasi (Iterasi 2).....	65
Table 3. 34 Hasil Akhir Optimasi PSO.....	66
Table 3. 35 Konfigurasi Hyperparameter Model Final.....	67
Table 3. 36 Confusion Matrix Klasifikasi Tingkat Hipertensi.....	70
Table 3. 37 Skenario Pengujian	72
Table 4. 1 Kode Program Menghapus Kolom	77
Table 4. 2 Kode Program Label Encoding.....	79
Table 4. 3 Kode Program Splitting Data.....	81
Table 4. 4 Kode Program Fungsi Fitness	84
Table 4. 5 Kode Program Penentuan Dimensi PSO.....	87
Table 4. 6 Kode Program Konfigurasi PSO.....	88
Table 4. 7 Kode Program Inisialisasi dan Eksekusi PSO.....	89
Table 4. 8 Kode Program Penentuan Fitur Terpilih PSO.....	90
Table 4. 9 Kode Program Penentuan Hyperparameter Hasil PSO.....	90
Table 4. 10 Kode Program Penyusunan Hyperparameter Terbaik Hasil PSO.....	91
Table 4. 11 Kode Program Seleksi Fitur Kategorikal	92
Table 4. 12 Kode Program Seleksi Data Untuk Pelatihan Dan Pengujian.....	92
Table 4. 13 Kode Program Inisialisasi Model CatBoost.....	93
Table 4. 14 Kode Program Pelatihan Model CatBoost.....	93
Table 4. 15 Kode Program Prediksi Data Uji	94
Table 4. 16 Kode Program Hasil Evaluasi Model.....	94
Table 4. 17 Kode Program Confusion Matrix.....	95
Table 4. 18 Kode Program Classification Report	96
Table 4. 19 Perbandingan Model CatBoost Baseline dengan Model Terbaik CatBoost-PSO	147