

**EVALUASI RELIABILITAS MODEL XGBOOST
MENGUNAKAN METODE HYBRID CALIBRATION
ENSEMBLE PADA DATASET PEMASARAN BANK**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Informatika



disusun oleh

HANNIF NURSUKMA ALKAHFY

22.11.5110

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2026

**EVALUASI RELIABILITAS MODEL XGBOOST
MENGUNAKAN METODE HYBRID CALIBRATION
ENSEMBLE PADA DATASET PEMASARAN BANK**

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Sarjana
Program Studi Informatika



disusun oleh

HANNIF NURSUKMA ALKAHFI

22.11.5110

Kepada

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS AMIKOM YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

**EVALUASI RELIABILITAS MODEL XGBOOST MENGGUNAKAN
METODE HYBRID CALIBRATION ENSEMBLE PADA DATASET
PEMASARAN BANK**

yang disusun dan diajukan oleh

Hannif Nursukma Alkahfy

22.11.5110

telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi
pada tanggal 20 Februari 2026

Dosen Pembimbing,



Kusnawi, S.Kom., M.Eng.

NIK. 190302112

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

**EVALUASI RELIABILITAS MODEL XGBOOST MENGGUNAKAN
METODE HYBRID CALIBRATION ENSEMBLE PADA DATASET
PEMASARAN BANK**

yang disusun dan diajukan oleh

Hannif Nursukma Alkahfy

22.11.5110

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 20 Februari 2026

Susunan Dewan Penguji

Nama Penguji

Tanda Tangan

Anna Baita, M.Kom

NIK. 190302290

Rizqi Sukma Kharisma, M.Kom

NIK. 190302215

Kusnawi, S.Kom., M.Eng.

NIK. 190302112



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer
Tanggal 20 Februari 2026

DEKAN FAKULTAS ILMU KOMPUTER



Prof. Dr. Kusrini, M.Kom.

NIK. 190302106

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama mahasiswa : Hannif Nursukma Alkahfy

NIM : 22.11.5110

Menyatakan bahwa Skripsi dengan judul berikut:

EVALUASI RELIABILITAS MODEL XGBOOST MENGGUNAKAN METODE HYBRID CALIBRATION ENSEMBLE PADA DATASET PEMASARAN BANK

Dosen Pembimbing : Kusnawi, S.Kom., M.Eng.

1. Karya tulis ini adalah benar-benar ASLI dan BELUM PERNAH diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas AMIKOM Yogyakarta maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian SAYA sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan disebutkan dalam Daftar Pustaka pada karya tulis ini.
4. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab SAYA, bukan tanggung jawab Universitas AMIKOM Yogyakarta.
5. Pernyataan ini SAYA buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka SAYA bersedia menerima SANKSI AKADEMIK dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi.

Yogyakarta, 20 Februari 2026

Yang Menyatakan,



Hannif Nursukma Alkahfy

HALAMAN PERSEMBAHAN

Menyelesaikan karya ini bukanlah sebuah perjalanan yang penulis lalui seorang diri. Di balik setiap rintangan yang berhasil terlewati dan baris kalimat yang tertulis, terdapat jalinan doa yang tak pernah putus serta dukungan tanpa pamrih dari orang-orang tersayang. Sebagai bentuk rasa syukur terdalam, lembar persembahan ini penulis tujukan kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta, dua sosok pelita yang tak pernah lelah merapal doa demi kelancaran langkah penulis. Terima kasih atas segala pengorbanan, peluh, dan kasih sayang luar biasa yang tak akan pernah bisa terbalas. Ketegaran dan wejangan kalian adalah fondasi utama yang menguatkan penulis hingga berhasil menyelesaikan tanggung jawab ini.
2. Keluarga besar kelas Informatika 9 Angkatan Tahun 2022, rekan-rekan seperjuangan yang telah menjadi rumah kedua selama menempuh masa studi. Terima kasih atas setiap tawa, keluh kesah bersama saat menghadapi error atau tenggat waktu, diskusi panjang, serta solidaritas tanpa batas yang membuat beban penyusunan karya ini terasa jauh lebih ringan.
3. Sahabat-sahabat dekat penulis, yang selalu sedia mendengarkan, menghibur, dan menjadi tempat bersandar. Terima kasih karena selalu memastikan penulis tidak menyerah di tengah jalan dan terus menyuntikkan semangat, walau di tengah kesibukan kita masing-masing.
4. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang lewat senyum, sapa, doa, maupun bantuannya sekecil apa pun itu telah memberikan kontribusi, energi positif, dan kebaikan yang sangat bermakna dalam kelancaran perjalanan akademik penulis.

KATA PENGANTAR

Puji syukur hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Evaluasi Reliabilitas Model XGBoost Menggunakan Metode *Hybrid Calibration Ensemble* Pada Dataset Pemasaran Bank ” dengan baik. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Suyanto, MM., selaku Rektor Universitas Amikom Yogyakarta.
2. Prof. Dr. Kusrini, M.Kom., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Amikom Yogyakarta.
3. Eli Pujastuti, M.Kom., selaku Kaprodi S1 Informatika Universitas Amikom.
4. Kusnawi, S.Kom., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama penyusunan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang *machine learning*.

Yogyakarta, 15 Februari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
INTISARI	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Studi Literatur	5
2.2 Dasar Teori.....	12
2.2.1 Bank dan Pemasaran Bank.....	12
2.2.2 <i>Machine Learning</i>	12

2.2.3	Klasifikasi	13
2.2.4	<i>Ensemble Learning</i>	13
2.2.5	Algoritma XGBoost	14
2.2.6	<i>Probabilistic Calibration</i>	15
2.2.7	Metode kalibrasi.....	16
2.2.8	Evaluasi.....	18
BAB III METODE PENELITIAN		22
3.1	Objek Penelitian.....	22
3.2	Alur Penelitian	23
3.2.1	Akuisisi Data.....	24
3.2.2	<i>EDA</i>	24
3.2.3	<i>Preprocessing</i>	25
3.2.4	<i>Split Data</i>	26
3.2.5	<i>Modeling</i>	27
3.2.6	Kalibrasi Probabilitas Tunggal.....	27
3.2.7	<i>Hybrid Calibration Ensemble</i>	28
3.2.8	Evaluasi.....	28
3.2.9	<i>Deployment</i>	29
3.3	Alat dan Bahan.....	30
3.1.1	Data Penelitian	30
3.1.2	Alat/Instrumen	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	<i>Exploratory Data Analysis (EDA)</i>	31
4.1.1	Pemeriksaan Struktur	31
4.1.2	Distribusi Variabel Target.....	32

4.1.3	Distribusi Variabel Numerik.....	33
4.1.4	Distribusi Variabel Kategorikal	35
4.1.5	Korelasi Antar Fitur Numerik.....	36
4.2	<i>Preprocessing</i>	37
4.2.1	Hasil Seleksi Fitur.....	37
4.2.2	Hasil <i>Cleaning</i> Data.....	38
4.2.3	Hasil <i>Encoding</i> Variable Target.....	39
4.2.4	Hasil <i>Encoding</i> Fitur Kategorikal	40
4.3	<i>Split Data</i>	40
4.4	Hasil Pelatihan Model <i>Baseline</i>	41
4.4.1	Evaluasi <i>Baseline</i>	42
4.5	Hasil Kalibrasi Tunggal	45
4.6	Hasil <i>Hybrid Calibration Ensemble</i>	46
4.7	Evaluasi dan Pembahasan	47
4.7.1	Evaluasi Kinerja Klasifikasi.....	48
4.7.2	Evaluasi Kualitas Probabilitas Prediksi	49
4.7.3	Analisis Probabilitas per <i>Bin</i>	52
4.8	<i>Deployment</i>	55
BAB V PENUTUP		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
REFERENSI		61

DAFTAR TABEL

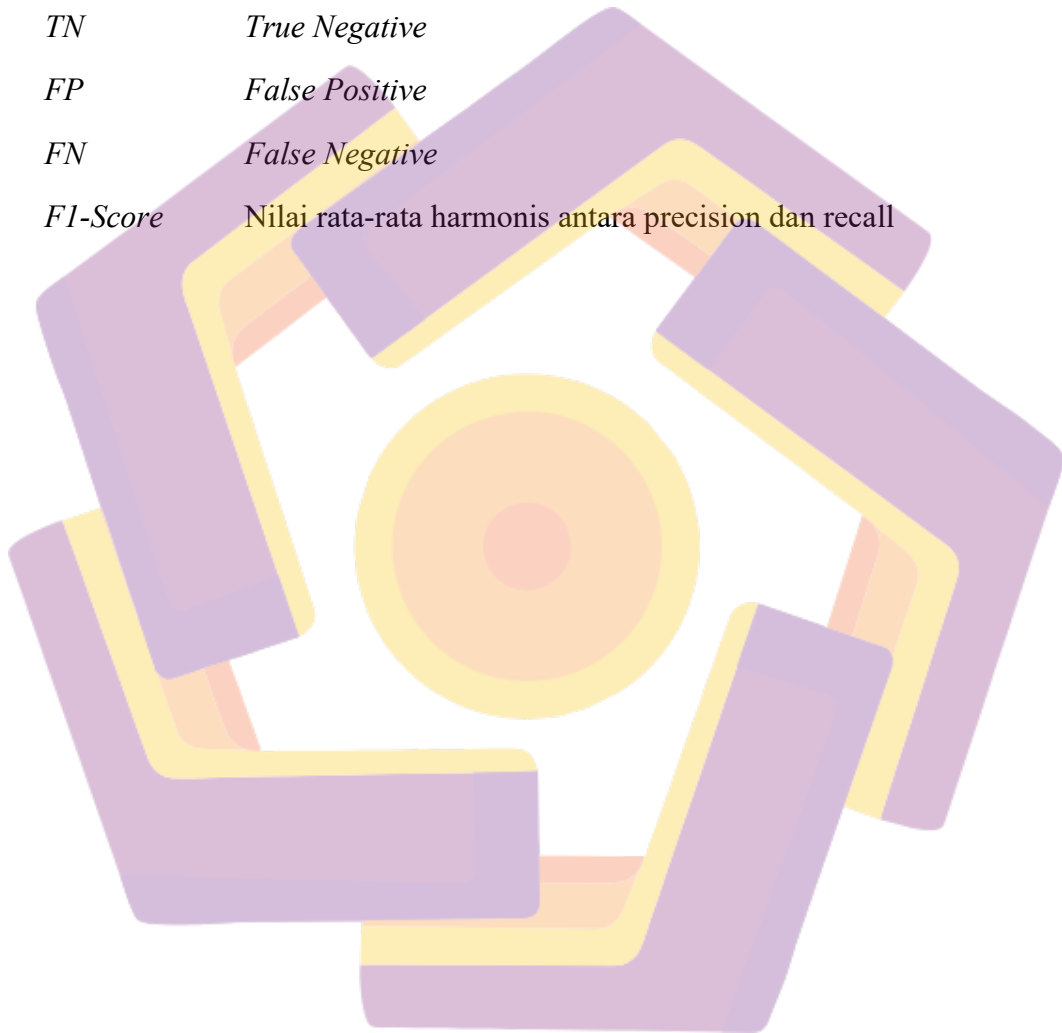
Tabel 4. 1 Hasil <i>Split Data</i>	41
Tabel 4. 2 Hasil Evaluasi <i>Baseline</i>	43
Tabel 4. 3 Hasil Evaluasi Probabilitas Model <i>Baseline</i>	43
Tabel 4. 4 Hasil Evaluasi Kalibrasi Tunggal	45
Tabel 4. 5 Hasil Evaluasi <i>Hybrid Calibration Ensemble</i>	47
Tabel 4. 6 Evaluasi Kinerja Klasifikasi	49
Tabel 4. 7 Perbandingan Metrik Kualitas Probabilitas	50
Tabel 4. 8 Perbandingan Probabilitas per Interval pada Model <i>Baseline</i>	54
Tabel 4. 9 Perbandingan Probabilitas per Interval pada Model <i>Hybrid</i>	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Reliability Diagram</i> [22]	20
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	23
Gambar 4. 1 Distribusi Fitur Target	33
Gambar 4. 2 Distribusi Fitur Numerik	34
Gambar 4. 3 Distribusi Fitur Kategorikal	35
Gambar 4. 4 Korelasi Fitur Numerik	37
Gambar 4. 5 <i>Reliability Diagram Baseline</i>	44
Gambar 4. 6 <i>Reliability Diagram Hybrid Data Driven</i>	51
Gambar 4. 7 Hasil <i>Deploy Model</i>	57
Gambar 4. 8 Hasil Prediksi <i>per Bin</i>	58

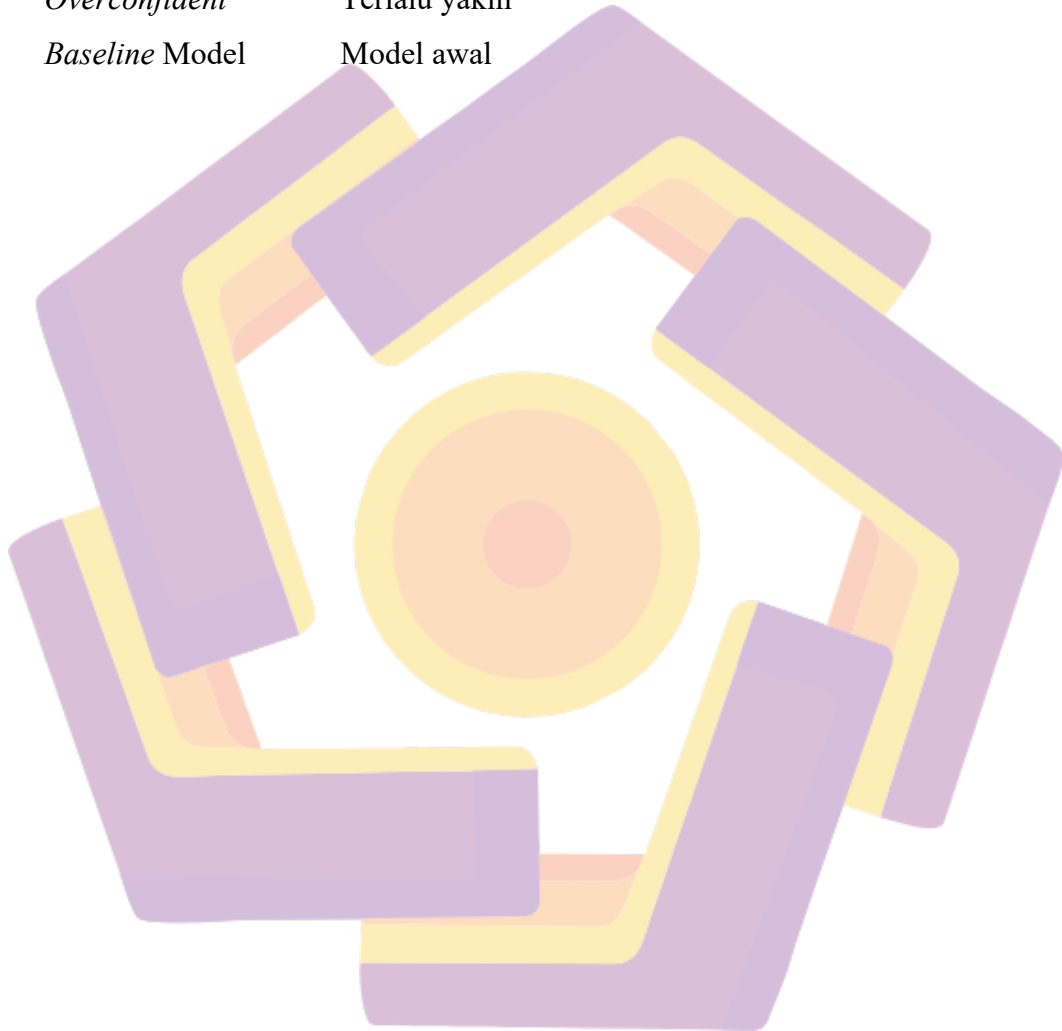
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

<i>XGBoost</i>	<i>Extreme Gradient Boosting</i>
<i>ECE</i>	<i>Expected Calibration Error</i>
<i>TP</i>	<i>True Positive</i>
<i>TN</i>	<i>True Negative</i>
<i>FP</i>	<i>False Positive</i>
<i>FN</i>	<i>False Negative</i>
<i>F1-Score</i>	Nilai rata-rata harmonis antara precision dan recall



DAFTAR ISTILAH

Kalibrasi	Penyesuaian probabilitas
<i>Brier Score</i>	<i>Error</i> probabilitas
<i>Reliability</i>	Diagram Diagram kalibrasi
<i>Overconfident</i>	Terlalu yakin
<i>Baseline Model</i>	Model awal



INTISARI

Permasalahan utama dalam pemanfaatan algoritma *machine learning* pada bidang pemasaran bank adalah rendahnya reliabilitas probabilitas prediksi, khususnya pada dataset yang tidak seimbang. Model *XGBoost* yang umum digunakan cenderung menghasilkan probabilitas yang tidak merepresentasikan peluang kejadian aktual secara akurat atau mengalami *miscalibration*. Kondisi ini berdampak pada kualitas pengambilan keputusan berbasis risiko, seperti penentuan prioritas nasabah dalam kampanye pemasaran, yang berpotensi menimbulkan inefisiensi dan kesalahan strategi bisnis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan *miscalibration* tersebut melalui penerapan *Hybrid Calibration Ensemble* pada model *XGBoost*. Metode yang digunakan meliputi tahapan pra-pemrosesan data, pelatihan model *XGBoost baseline*, pemisahan data menjadi data pelatihan, kalibrasi, dan pengujian, serta penerapan metode kalibrasi *Platt Scaling*, *Isotonic Regression*, dan *Beta Calibration*. Selanjutnya, hasil dari masing-masing metode kalibrasi digabungkan dalam suatu skema *ensemble* untuk menghasilkan probabilitas akhir yang lebih reliabel. Evaluasi kinerja dilakukan menggunakan metrik *Brier Score* dan analisis *reliability diagram*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *XGBoost baseline* mengalami *miscalibration* yang signifikan. Metode kalibrasi tunggal mampu memperbaiki reliabilitas probabilitas, namun peningkatannya masih terbatas. *Hybrid Calibration Ensemble* menghasilkan performa terbaik dengan nilai *Brier Score* terendah dan kurva *reliability diagram* yang paling mendekati garis ideal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam peningkatan kejujuran probabilitas model *machine learning* dan dapat dimanfaatkan oleh praktisi perbankan, analis data, serta pengambil keputusan dalam sistem pemasaran berbasis risiko. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan pendekatan ini pada skenario multi-kelas atau data dengan perubahan distribusi.

Kata kunci: *XGBoost*, kalibrasi probabilitas, *hybrid calibration ensemble*, *Brier Score*, pemasaran bank

ABSTRACT

One of the main challenges in applying machine learning algorithms to banking marketing is the low reliability of predicted probabilities, particularly when dealing with imbalanced datasets. XGBoost, despite its strong classification performance, often produces overconfident probability estimates that do not accurately reflect actual event frequencies, a condition known as miscalibration. This issue negatively affects risk-based decision making, such as customer prioritization in marketing campaigns, potentially leading to inefficient strategies and suboptimal resource allocation.

This study aims to address the miscalibration problem by applying a Hybrid Calibration Ensemble to an XGBoost model. The research methodology includes data preprocessing, training an XGBoost baseline model, splitting the dataset into training, calibration, and testing subsets, and applying Platt Scaling, Isotonic Regression, and Beta Calibration as post-hoc calibration methods. The calibrated outputs from these methods are then combined using an ensemble scheme to produce more reliable probability estimates. Model performance is evaluated using the Brier Score and reliability diagrams.

The results indicate that the baseline XGBoost model exhibits significant miscalibration. While single calibration methods improve probability reliability, their effectiveness remains limited and inconsistent across probability ranges. The Hybrid Calibration Ensemble achieves the best performance, yielding the lowest Brier Score and reliability curves closest to the ideal diagonal. This study contributes to improving probabilistic honesty in machine learning models and can be utilized by banking practitioners, data analysts, and decision makers in risk-based marketing systems. Future research may extend this approach to multiclass settings or scenarios involving distribution shift.

Keywords: *XGBoost, probability calibration, hybrid calibration ensemble, Brier Score, banking marketing*