

**KLASIFIKASI ASAL DAERAH MUSIK TRADISIONAL INDONESIA
MENGUNAKAN EXTREME GRADIENT BOOSTING (XGBOOST)
BERDASARKAN FITUR MEL-FREQUENCY CEPSTRAL
COEFFICIENTS (MFCC)**

SKRIPSI

Oleh:

**WIBOWO HARIANJA
NIM. 221113032
ARIE DIRGARI HARISMA
NIM. 221112835
MUHAMMAD ATILA GADING
NIM. 221112997**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS INFORMATIKA
UNIVERSITAS MIKROSKIL
MEDAN
2026**

**CLASSIFICATION OF THE REGIONAL ORIGINS OF INDONESIAN
TRADITIONAL MUSIC USING EXTREME GRADIENT BOOSTING
(XGBOOST) WITH MEL-FREQUENCY CEPSTRAL
COEFFICIENTS (MFCC) FEATURES**

UNDERGRADUATE THESIS

By:

WIBOWO HARIANJA

ID NUMBER. 221113032

ARIE DIRGARI HARISMA

ID NUMBER. 221112835

MUHAMMAD ATILA GADING

ID NUMBER. 221112997



**UNDERGRADUATE PROGRAM OF COMPUTER SCIENCE
FACULTY OF INFORMATICS
UNIVERSITAS MIKROSKIL
MEDAN
2026**

LEMBARAN PENGESAHAN

KLASIFIKASI ASAL DAERAH MUSIK TRADISIONAL INDONESIA
MENGUNAKAN EXTREME GRADIENT BOOSTING (XGBOOST)
BERDASARKAN FITUR MEL FREQUENCY CEPSTRAL
COEFFICIENTS (MFCC)

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Persyaratan Guna
Mendapatkan Gelar Sarjana
Program Studi S-1 Teknik Informatika

Oleh:

WIBOWO HARIANJA

NIM. 221113032

ARIE DIRGARI HARISMA

NIM. 221112835

MUHAMMAD ATILA GADING

NIM. 221112997

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Sunaryo Winardi, S.Kom., M.T


Irpan Adiputra Pardosi, S.Kom., M.TI

Medan, 31 Juli 2026
Diketahui dan Disahkan Oleh:

Ketua Program Studi
S-1 Teknik Informatika,


Charles Juliandy, S.Kom., M.Kom

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang membuat pernyataan ini adalah mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Informatika Universitas Mikroskil Medan dengan identitas mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Wibowo Harianja
NIM : 221113032

Saya telah melaksanakan penelitian dan penulisan Skripsi dengan judul dan tempat penelitian sebagai berikut:

Judul Skripsi : Klasifikasi Asal Daerah Musik Tradisional Indonesia Menggunakan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Berdasarkan Fitur Mel Frekuensi Cepstral Coefficient (MFCC)
Tempat Penelitian : Universitas Mikroskil
Alamat Tempat Penelitian : Jl. M.H. Thamrin No.140, Pusat Ps., Kec. Medan Kota, Kota Medan, Sumatra Utara 20212
No. Telp. Tempat Penelitian : (061) 4573767

Sehubungan dengan Skripsi tersebut, dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian dan penulisan Skripsi tersebut merupakan hasil karya saya sendiri (tidak menyuruh orang lain yang mengerjakannya) dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar. Bila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa bukan saya yang mengerjakannya (membuatnya), maka saya bersedia dikenakan sanksi yang telah ditetapkan oleh Universitas Mikroskil Medan, yakni pencabutan ijazah yang telah saya terima dan ijazah tersebut dinyatakan tidak sah.

Selain itu, demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mikroskil Medan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas Skripsi saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Universitas Mikroskil Medan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya, secara keseluruhan atau hanya sebagian atau hanya ringkasannya saja dalam bentuk format tercetak dan/atau elektronik, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Menyatakan juga bahwa saya akan mempertahankan hak eksklusif saya untuk menggunakan seluruh atau sebagian isi Skripsi saya guna pengembangan karya di masa depan, misalnya dalam bentuk artikel, buku, ataupun perangkat lunak/sistem informasi.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sungguh-sungguh, dalam keadaan sadar dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Medan, 01 Juli 2026

Saya yang membuat pernyataan,



Wibowo Harianja

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang membuat pernyataan ini adalah mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Informatika Universitas Mikroskil Medan dengan identitas mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Arie Dirgari Harisma
NIM : 221112835

Saya telah melaksanakan penelitian dan penulisan Skripsi dengan judul dan tempat penelitian sebagai berikut:

Judul Skripsi : Klasifikasi Asal Daerah Musik Tradisional Indonesia Menggunakan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Berdasarkan Fitur Mel Frekuensi Cepstral Coefficient (MFCC)
Tempat Penelitian : Universitas Mikroskil
Alamat Tempat Penelitian : Jl. M.H. Thamrin No.140, Pusat Ps., Kec. Medan Kota, Kota Medan, Sumatra Utara 20212
No. Telp. Tempat Penelitian : (061) 4573767

Sehubungan dengan Skripsi tersebut, dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian dan penulisan Skripsi tersebut merupakan hasil karya saya sendiri (tidak menyuruh orang lain yang mengerjakannya) dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar. Bila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa bukan saya yang mengerjakannya (membuatnya), maka saya bersedia dikenakan sanksi yang telah ditetapkan oleh Universitas Mikroskil Medan, yakni pencabutan ijazah yang telah saya terima dan ijazah tersebut dinyatakan tidak sah.

Selain itu, demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mikroskil Medan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas Skripsi saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Universitas Mikroskil Medan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya, secara keseluruhan atau hanya sebagian atau hanya ringkasannya saja dalam bentuk format tercetak dan/atau elektronik, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Menyatakan juga bahwa saya akan mempertahankan hak eksklusif saya untuk menggunakan seluruh atau sebagian isi Skripsi saya guna pengembangan karya di masa depan, misalnya dalam bentuk artikel, buku, ataupun perangkat lunak/sistem informasi.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sungguh-sungguh, dalam keadaan sadar dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Medan, 01 Juli 2026

Saya yang membuat pernyataan,



Arie Dirgari Harisma

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang membuat pernyataan ini adalah mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Informatika Universitas Mikroskil Medan dengan identitas mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Muhammad Atila Gading

NIM : 221112997

Saya telah melaksanakan penelitian dan penulisan Skripsi dengan judul dan tempat penelitian sebagai berikut:

Judul Skripsi : Klasifikasi Asal Daerah Musik Tradisional Indonesia Menggunakan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Berdasarkan Fitur Mel Frekuensi Cepstral Coefficient (MFCC)

Tempat Penelitian : Universitas Mikroskil

Alamat Tempat Penelitian : Jl. M.H. Thamrin No.140, Pusat Ps., Kec. Medan Kota, Kota Medan, Sumatra Utara 20212

No. Telp. Tempat Penelitian : (061) 4573767

Sehubungan dengan Skripsi tersebut, dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian dan penulisan Skripsi tersebut merupakan hasil karya saya sendiri (tidak menyuruh orang lain yang mengerjakannya) dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar. Bila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa bukan saya yang mengerjakannya (membuatnya), maka saya bersedia dikenakan sanksi yang telah ditetapkan oleh Universitas Mikroskil Medan, yakni pencabutan ijazah yang telah saya terima dan ijazah tersebut dinyatakan tidak sah.

Selain itu, demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mikroskil Medan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas Skripsi saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak ini, Universitas Mikroskil Medan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Skripsi saya, secara keseluruhan atau hanya sebagian atau hanya ringkasannya saja dalam bentuk format tercetak dan/atau elektronik, selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Menyatakan juga bahwa saya akan mempertahankan hak eksklusif saya untuk menggunakan seluruh atau sebagian isi Skripsi saya guna pengembangan karya di masa depan, misalnya dalam bentuk artikel, buku, ataupun perangkat lunak/sistem informasi.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sungguh-sungguh, dalam keadaan sadar dan tanpa ada tekanan dari pihak manapun.

Medan, 01 Juli 2026

Saya yang membuat pernyataan,



Muhammad Atila Gading

KLASIFIKASI ASAL DAERAH MUSIK TRADISIONAL INDONESIA MENGUNAKAN EXTREME GRADIENT BOOSTING (XGBOOST) BERDASARKAN FITUR MEL FREQUENCY CEPSTRAL COEFFICIENTS (MFCC)

ABSTRAK

Lagu daerah merupakan salah satu warisan budaya Indonesia yang perlu dilestarikan, namun pemanfaatan teknologi untuk mengenali asal daerah lagu secara otomatis masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem klasifikasi asal daerah musik tradisional Indonesia berdasarkan karakteristik audio menggunakan algoritma Extreme Gradient Boosting (XGBoost) dengan ekstraksi fitur Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) dan feature fusion. Dataset yang digunakan adalah Indonesia Regional Song Dataset (IRSD) yang terdiri atas 500 data lagu dari 10 provinsi. Tahapan penelitian meliputi preprocessing audio, segmentasi, ekstraksi fitur, optimasi hyperparameter menggunakan Optuna berbasis Bayesian Optimization, pelatihan model XGBoost, serta implementasi model pada aplikasi web berbasis Streamlit yang dilengkapi peta interaktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model memperoleh akurasi sebesar 77,33% dan macro F1-score sebesar 76,99%. Sistem yang dikembangkan juga menyajikan informasi budaya dan wilayah asal lagu secara interaktif sehingga dapat mendukung pelestarian budaya serta menjadi media edukasi mengenai keberagaman musik tradisional Indonesia.

Kata kunci: MFCC, XGBoost, klasifikasi audio, lagu daerah Indonesia, feature fusion.

Abstract

Regional songs are one of Indonesia's cultural heritages that need to be preserved. However, the use of technology to automatically identify the regional origin of songs remains limited. This study aims to develop a classification system for identifying the regional origin of Indonesian traditional music based on audio characteristics using the Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algorithm with Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) feature extraction and feature fusion. The dataset used in this study is the Indonesia Regional Song Dataset (IRSD), consisting of 500 songs from 10 provinces. The research stages include audio preprocessing, segmentation, feature extraction, hyperparameter optimization using Optuna based on Bayesian Optimization, XGBoost model training, and model implementation in a Streamlit-based web application equipped with an interactive map. The experimental results show that the model achieved an accuracy of 77.33% and a **macro F1-score of 76.99%**. The developed system also provides interactive information on the cultural and geographical origins of regional songs, thereby supporting cultural preservation and serving as an educational medium for introducing the diversity of Indonesian traditional music.

Keywords: MFCC, XGBoost, audio classification, Indonesian regional songs, feature fusion.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur yang tulus kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, petunjuk, dan karunia-Nya yang telah menyertai perjalanan kami dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “*Klasifikasi Asal Daerah Musik Tradisional Indonesia Menggunakan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) Berdasarkan Fitur Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)*”. Dengan penuh rasa Syukur, kami mengakui bahwa tanpa pertolongan-Nya, kami tidak akan mampu mengatasi berbagai tantangan dan hambatan yang kami hadapi selama proses penyusunan skripsi ini.

Penyusunan skripsi ini merupakan bagian integral dari tahapan akhir dalam menyelesaikan pendidikan kami di Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Informatika Universitas Mikroskil.

Kami ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, motivasi dan doa dalam proses penyusunan skripsi ini

1. Bapak Sunaryo Winardi, S.Kom., M.T, selaku Dosen Pembimbing I, dan selaku Dekan Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan.
2. Bapak Irpan Adiputra Pardosi, S.Kom., M.TI., selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Hardy, S.Kom., M.Sc., Ph.D, selaku Rektor Universitas Mikroskil Medan.
4. Bapak Carles Juliandy, S.Kom, M.Kom., selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika Universitas Mikroskil Medan.
5. Kedua orang tua tercinta, seluruh keluarga, dan teman-teman yang senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat, serta motivasi kepada kami.

Kami menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna, oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca demi penyempurnaan penelitian ini pada masa yang akan datang.

Akhir kata, kami berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi salah satu referensi dalam pengembangan penelitian di bidang *machine learning*, khususnya penerapan algoritma *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)* untuk klasifikasi lagu daerah Indonesia

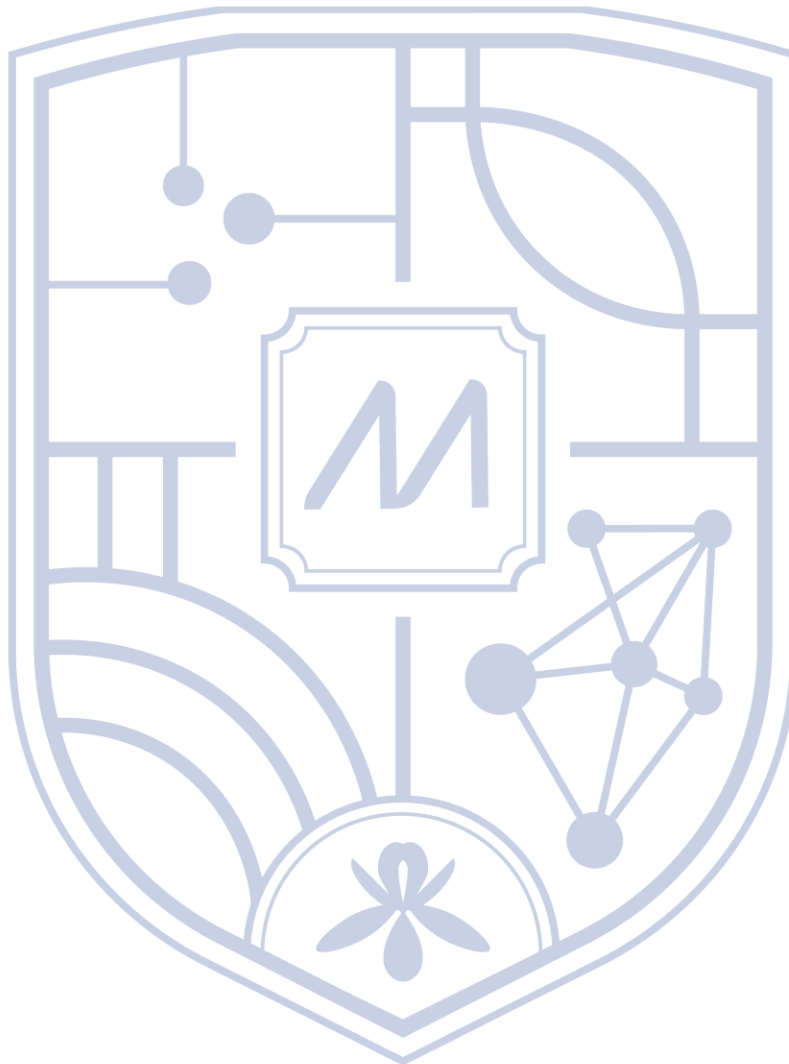
Medan, 1 July 2026

Penulis,

Wibowo Harianja

Arie Dirgari Harisma

Muhammad Atila Gading

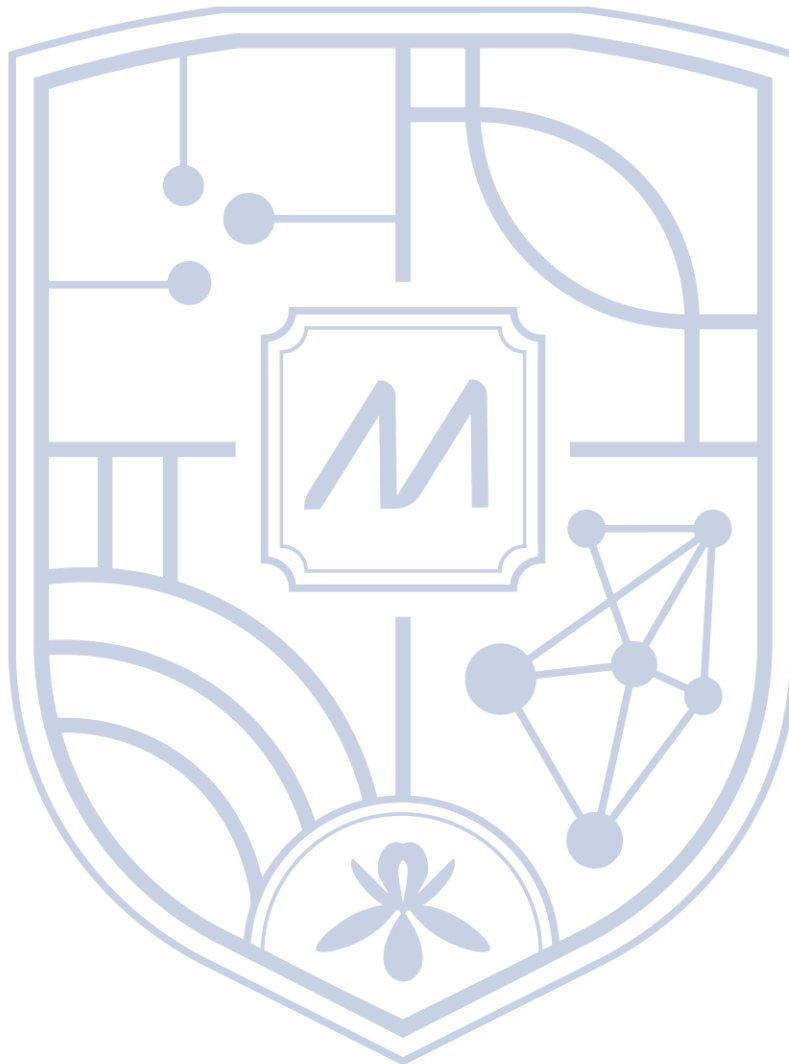


DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II KAJIAN LITERATUR.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Lagu Daerah	6
2.2.1 Dinamika Nilai dalam lagu Daerah dari Masa ke Masa	6
2.2.2 Tantangan Lagu Daerah.....	7
2.3 Geographic Information System	7
2.4 Music Information Retrieval (MIR).....	8
2.5 Digital Signal Processing	9
2.6 Segmentasi	10
2.7 Ekstraksi Fitur.....	10
2.7.1 Time Domain	10
2.7.2 Frequency Domain	12
2.7.3 MFCC	14
2.8 Feature Fusion.....	17
2.9 Machine Learning	18
2.10 Klasifikasi	19
2.11 XGBoost.....	20
2.11.1 Prinsip Kerja XGBoost	21
2.11.2 Fungsi Objektif dan Regularisasi.....	22
2.11.3 Optimasi dengan Second-Order Gradient.....	23

2.11.4 XGBoost untuk Klasifikasi Multi-Kelas	23
2.11.5 Keunggulan XGBoost.....	26
2.12 Hyperparameter Optimization (HPO).....	26
2.12.1 Bayesian Optimization	27
2.12.2 Optuna	27
2.13 Confusion Matrix	28
2.14 t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE)	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Metode Pengembangan Sistem	30
3.2 Analisis Proses	31
3.2.1 Proses Pengembangan model	32
3.2.2 Proses Implementasi	47
3.3 Analisis Kebutuhan	80
3.4 Perancangan	84
3.4.1 Halaman Utama	85
3.4.2 Halaman Deteksi Audio.....	86
3.4.3 Halaman Peta Interaktif.....	87
3.5 Perancangan Database.....	89
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	91
4.1 Implementasi Sistem	91
4.1.1 Implementasi Database.....	91
4.1.2 Implementasi Antarmuka Aplikasi Web	92
4.2 Hasil Pengembangan Modul Pemrosesan Audio	96
4.2.1 Hasil Input Raw Audio	97
4.2.2 Hasil Preprocessing	97
4.2.3 Hasil Segmentasi	98
4.2.4 Hasil Ekstraksi Fitur Akustik.....	99
4.2.5 Output Prediksi dan Probabilitas Model.....	100
4.3 Pengujian Sistem.....	101
4.4 Hasil Pengembangan Model	106
4.4.1 Hasil Penyiapan Data dan Preprocessing	106
4.4.2 Hasil Data Splitting	108
4.4.3 Hasil Hyperparameter Optimization dan Pelatihan Model Final	108

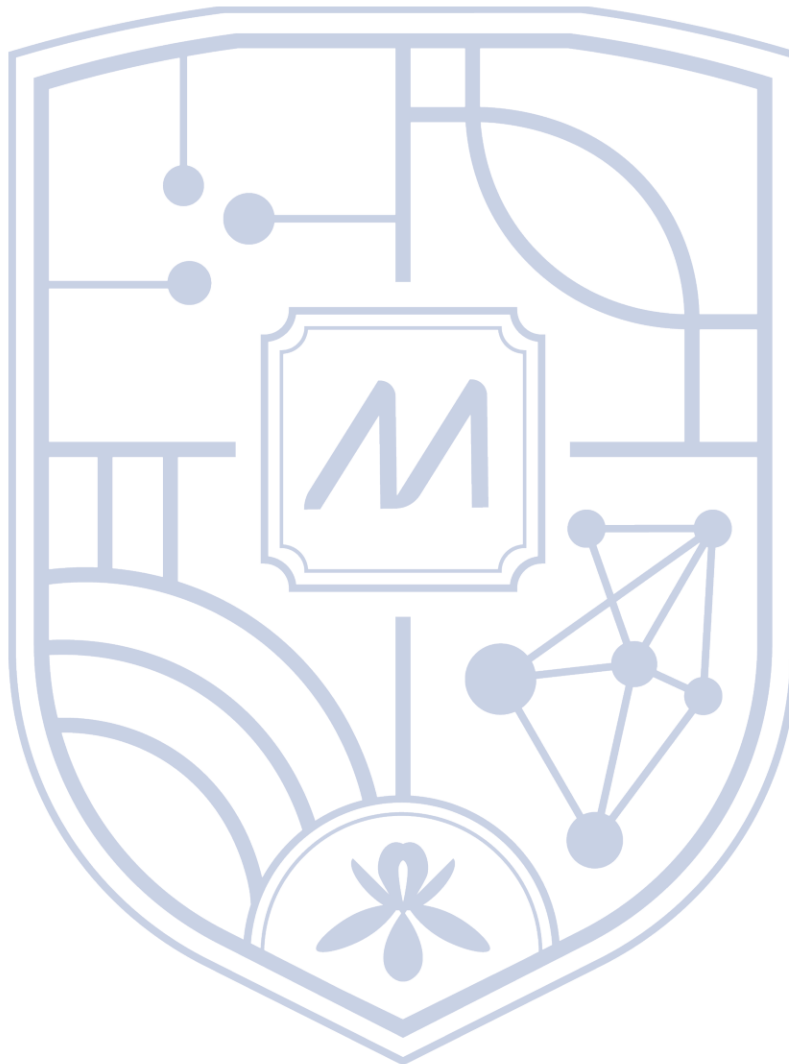
4.5 Evaluasi Performa Model.....	111
BAB V PENUTUP	116
5.1 Kesimpulan	116
5.2 Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA	118
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	126



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses ekstraksi fitur menggunakan metode MFCC[40].....	15
Gambar 2. 2 Flowchart XGBoost[53]	21
Gambar 3. 1 Flowchart keseluruhan proses	31
Gambar 3. 2 Flowchart Preprocessing Pembuatan Model	32
Gambar 3. 3 Flowchart Preprocessing Implementasi.....	32
Gambar 3. 4 Audio Waveform pada contoh lagu Beu Sare Sare.....	48
Gambar 3. 5 Audio Waveform pada contoh lagu Beu Sare Sare.....	49
Gambar 3. 6 Waveform Beu Sare Sare.mp3 setelah melakukan segmentasi	50
Gambar 3. 7 Use case diagram kebutuhan fungsional.....	81
Gambar 3. 8 Halaman Utama	85
Gambar 3. 9 Halaman Deteksi Lagu Berdasarkan Audio.....	86
Gambar 3. 10 Upload audio.....	87
Gambar 3. 11 Halaman Peta Interaktif	88
Gambar 3.12 Struktur Data GeoJSON	90
Gambar 4. 1 Struktur Database SQLite pada Tabel Songs.....	91
Gambar 4. 2 Tampilan Halaman Beranda Aplikasi	92
Gambar 4. 3 Fitur Pada Website.....	93
Gambar 4. 4 Upload Audio Lagu Daerah	94
Gambar 4. 5 Audio Sudah Selesai Diunggah	94
Gambar 4. 6 Hasil Klasifikasi	95
Gambar 4. 7 List Lagu Berdasarkan Provinsi	96
Gambar 4. 8 Informasi Makna dan Sejarah Lagu.....	96
Gambar 4. 9 Informasi Properti Raw Audio Sebelum Pemrosesan.....	97
Gambar 4. 10 Hasil Proses Silence Removal pada Sinyal Audio.....	98
Gambar 4. 11 Hasil Segmentasi Sinyal Audio Menjadi 20 Segmen	99
Gambar 4. 12 Hasil Ekstraksi Fitur Akustik Audio	100
Gambar 4. 13 Output prediksi	101
Gambar 4. 14 Struktur Dataset ISRD Setelah Proses Data Cleaning.....	107
Gambar 4. 15 Hasil Seleksi Fitur Akustik pada Dataset IRSD	107
Gambar 4. 16 Hasil Transformasi Label Provinsi Menggunakan Label Encoding	108

Gambar 4. 17 Hasil Pembagian Dataset Training, Validation, dan Testing.....	108
Gambar 4. 18 Performa Trial Terbaik pada Proses Optimasi Hyperparameter	110
Gambar 4. 19 Konfigurasi Model Final XGBoost Setelah Optimasi	111
Gambar 4. 20 Confusion Matrix.....	112



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2. 2 Confusion Matrix Multiclass	28
Tabel 3. 1 Distribusi Dataset.....	33
Tabel 3. 2 Variabel Fitur	34
Tabel 3. 3 Variabel Target	35
Tabel 3. 4 Label Encoding	36
Tabel 3. 5 Contoh Data Untuk Perhitungan Algoritma XGBoost	39
Tabel 3. 6 Hasil perhitungan gradient dan hessian untuk kelas 0 (Aceh).....	39
Tabel 3. 7 Hasil perhitungan gradient dan hessian untuk kelas 1 (Jawa Barat)	39
Tabel 3. 8 Hasil perhitungan gradient dan hessian untuk kelas 2 (Papua)	40
Tabel 3. 9 Kandidat threshold $\times 1$	40
Tabel 3. 10 Hasil perhitungan Gain kelas 0 (Aceh).....	42
Tabel 3. 11 Hasil perhitungan Gain kelas 1 (Jawa Barat).....	43
Tabel 3. 12 Hasil perhitungan Gain kelas 2 (Papua)	43
Tabel 3. 13 Posisi daun setiap data	44
Tabel 3. 14 Skor setelah update	44
Tabel 3. 15 Hasil akhir perhitungan round 1	45
Tabel 3. 16 Search Space Hyperparameter dan Dasar Penentuan Rentang Nilai	46
Tabel 3. 17 Array data audio Beu Sare Sare.mp3 setelah proses normalisasi	49
Tabel 3. 18 Array data audio Beu Sare Sare setelah preprocessing	51
Tabel 3. 20 Hasil perhitungan Windowing	51
Tabel 3. 21 Proses pembandingan tanda pada sampel data	52
Tabel 3. 22 Hasil pengkuadratan tiap sampel	53
Tabel 3. 23 Perhitungan frekuensi tiap bin FFT	56
Tabel 3. 24 Perhitungan komponen real dan imajiner bin $k=0$	57
Tabel 3. 25 Perhitungan komponen real dan imajiner bin $k=1$	58
Tabel 3. 26 Perhitungan komponen real dan imajiner bin $k=2$	59
Tabel 3. 27 Perhitungan komponen real dan imajiner bin $k=3$	60
Tabel 3. 28 Perhitungan komponen real dan imajiner bin $k=4$	60
Tabel 3. 29 Perhitungan komponen real dan imajiner bin $k=5$	61
Tabel 3. 30 Hasil FFT	62

Tabel 3. 31 Perhitungan Spectral Centroid	63
Tabel 3. 32 Perhitungan Spectral Spread	63
Tabel 3. 33 Perhitungan Spectral Entropy	64
Tabel 3. 34 Pembagian sinyal menjadi dua frame untuk Spectral Flux	65
Tabel 3. 35 Frekuensi bin FFT untuk setiap frame	65
Tabel 3. 36 perhitungan DFT frame t-1, k=0	65
Tabel 3. 37 Perhitungan DFT frame t-1, k=1	66
Tabel 3. 38 Perhitungan DFT frame t-1, k=2	67
Tabel 3. 39 Hasil magnitude FFT frame t-1	67
Tabel 3. 40 Perhitungan DFT frame t, k=0	68
Tabel 3. 41 Perhitungan DFT frame t, k=1	68
Tabel 3. 42 Perhitungan DFT frame t, k=2	69
Tabel 3. 43 Hasil magnitude FFT frame t	69
Tabel 3. 44 Selisih magnitude dan nilai kuadratnya	70
Tabel 3. 45 Contoh frekuensi bin FFT ($f_s = 22.050$ Hz, $N = 512$)	71
Tabel 3. 46 Titik batas $M+2=28$ filter Mel beserta nilai Hz dan bin FFT	72
Tabel 3. 47 Bobot filter triangular $H_s[k]$ untuk filter $m=5$ ($lo=bin8, mid=bin11, hi=bin14$)	74
Tabel 3. 48 Perhitungan energi filter $m=5$	74
Tabel 3. 49 Energi $E[m]$ dan log-energi $S[m]$ untuk seluruh 26 filter Mel	75
Tabel 3. 50 Perhitungan DCT Koefisien C_1 ($n=1, K=26$)	76
Tabel 3. 51 Contoh hasil MFCC	78
Tabel 3. 52 Pemetaan bin frekuensi FFT ke pitch class	79
Tabel 3. 53 Defenisi Aktor	81
Tabel 3. 54 Skenario use case Deteksi	82
Tabel 3. 55 Skenario use case Eksplorasi Peta	83
Tabel 3. 56 Tabel Song	89
Tabel 4. 1 Hasil Normalisasi Nilai Amplitudo Sinyal Audio	98
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian	102
Tabel 4. 3 Hasil Optimasi Hyperparameter XGBoost Menggunakan Optuna	110
Tabel 4. 4 Performa Keseluruhan Model	113
Tabel 4. 5 Performa Model Per Kelas	113