



# **KLASIFIKASI MUSIK AI DAN MANUSIA MENGGUNAKAN OPTIMAL TRANSPORT DAN SUPPORT VECTOR MACHINE**

**ADRIANO EXCEL PUTRA**



**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA DAN SAINS DATA  
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



## @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.



## PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Klasifikasi Musik AI dan Manusia Menggunakan *Optimal Transport* dan *Support Vector Machine*” 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 skripsi ini.

Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan Claude AI dan ChatGPT untuk membantu penulis dalam tahapan penulisan dan analisis data. Setelah menggunakan layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi karya tugas akhir ini.

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

Bogor, Juli 2026

Adriano Excel Putra  
G1401221020



## ABSTRAK

ADRIANO EXCEL PUTRA. Klasifikasi Musik AI dan Manusia Menggunakan Optimal Transport dan Support Vector Machine. Dibimbing oleh BUDI SUSETYO dan PIKA SILVIANTI.

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan telah memungkinkan generasi musik yang semakin sulit dibedakan dari karya manusia. Hal ini menimbulkan tantangan dalam hal keaslian karya dan keberlanjutan ekosistem kreatif. Penelitian ini mengembangkan model klasifikasi untuk membedakan musik buatan *artificial intelligence* (AI) dan musik buatan manusia menggunakan *Mel-frequency Cepstral Coefficients* (MFCC) sebagai representasi fitur audio, *wasserstein distance* berbasis *optimal transport* sebagai ukuran kemiripan distribusional, dan *Support Vector Machine* (SVM) dengan *precomputed kernel* sebagai model klasifikasi. Sebanyak 603 sampel audio digunakan, terdiri dari lagu manusia dan lagu AI dengan proporsi 49:51. Setiap audio diproses menjadi segmen berdurasi tetap dari titik median durasi lagu dan diekstraksi menggunakan 40 koefisien MFCC. Sebelum dihitung jarak antar distribusinya, setiap lagu dinormalisasi menggunakan *Cepstral Mean and Variance Normalization* (CMVN). Setiap lagu kemudian direpresentasikan sebagai distribusi empiris dari frame MFCC, dan jarak antar distribusi dihitung menggunakan *Wasserstein distance* untuk membentuk *precomputed kernel* pada model SVM. Optimasi model dilakukan melalui *grid search* dengan *5-fold cross-validation*. Model terbaik menggunakan *sigma scale* 1 dan parameter regularisasi C sebesar 2, menghasilkan F1-score sebesar 0.873 dan akurasi sebesar 0.873 pada data uji. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik akustik antara kedua kelas paling signifikan terletak pada koefisien MFCC orde rendah, yang merepresentasikan karakteristik energi dan timbre spektral secara global.

Kata kunci: klasifikasi audio, MFCC, *optimal transport*, *support vector machine*, *Wasserstein distance*



## ABSTRACT

ADRIANO EXCEL PUTRA. Classification of AI and Human Music Using Optimal Transport and Support Vector Machine. Supervised by BUDI SUSETYO and PIKA SILVIANTI.

The rapid advancement of artificial intelligence has enabled the generation of music that is increasingly indistinguishable from human-composed works, posing challenges to artistic authenticity and the sustainability of the creative economy. This study develops a classification framework to distinguish AI-generated music from human-composed music using Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) as audio feature representations, Wasserstein distance based on Optimal Transport as a distributional similarity measure, and Support Vector Machine (SVM) with a precomputed kernel as the classifier. A total of 603 audio samples were used, consisting of human-composed music from the Free Music Archive (FMA) dataset and AI-generated music from the SunoCaps dataset in a 49:51 proportion. Each audio signal was segmented from the center of the track, extracted using 40 MFCC coefficients, and normalized using Cepstral Mean and Variance Normalization (CMVN). Each song was represented as an empirical distribution of MFCC frames, and pairwise Wasserstein distances were computed to form a precomputed kernel for SVM training. Model optimization was conducted through grid search with 5-fold cross-validation. The best model using sigma scale 1 and regularization parameter C of 2 achieved an F1-score of 0.873 and accuracy of 0.873 on the test data. Further analysis revealed that the most discriminative acoustic differences between the two classes were concentrated in low-order MFCC coefficients, which represent global spectral energy and timbral characteristics.

Keywords: audio classification, MFCC, optimal transport, support vector machine, wasserstein distance



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.*

# **KLASIFIKASI MUSIK AI DAN MANUSIA MENGGUNAKAN OPTIMAL TRANSPORT DAN SUPPORT VECTOR MACHINE**

**ADRIANO EXCEL PUTRA**

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana pada  
Program Studi Statistika dan Sains Data

**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA DAN SAINS DATA  
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**



## @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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:  
1. Akbar Rizki, S.Stat., M.Si



## @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.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Judul Skripsi : Klasifikasi Musik AI dan Manusia Menggunakan *Optimal Transport dan Support Vector Machine*

Nama : Adriano Excel Putra  
NIM : G1401221020

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr. Ir. Budi Susetyo, M.S.



Pembimbing 2:  
Pika Silvianti S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr. Bagus Sartono, S.Si., M.Si.  
NIP 19780411 200501 1002

\_\_\_\_\_

Tanggal Ujian:  
29 Juni 2026

Tanggal Lulus:

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.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Desember 2025 sampai bulan Mei 2026 ini ialah klasifikasi data musik dengan judul “Klasifikasi Musik AI dan Manusia Menggunakan *Optimal Transport* dan *Support Vector Machine*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah memberikan doa, bimbingan, serta dukungan dalam penyusunan karya ilmiah ini. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Liem Theng Tjhwan dan Ibu Yenni Susanti selaku orang tua, dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa terbaik, dukungan, dan kasih sayang kepada penulis;
2. Dr. Ir. Budi Susetyo, M.SI. dan Ibu Pika Silvianti S.Si., M.Si. selaku komisi pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, saran, waktu, dan motivasi kepada penulis selama penulisan karya ilmiah ini;
3. Ibu Akbar Rizki, S.Stat., M.Si. selaku dosen penguji luar komisi, Ibu Dr. Ir. Indahwati M.Si. selaku moderator kolokium dan Bapak Ir. Aam Alamudi M.Si. selaku moderator seminar hasil yang turut memberikan saran dan masukkan dalam penulisan karya ilmiah ini;
4. Seluruh dosen dan tenaga pendidik Program Studi Statistika dan Sains Data yang telah memberi ilmu bermanfaat dan menunjang segala kebutuhan penulis selama perkuliahan dan penyusunan karya ilmiah ini;
5. Sahabat-sahabat penulis, Vincent, Leo, Marvel, Arga, Iyan, Aqil, Ryan, Ali, Fino, Irsyad yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Marinestic Statistika 59 dan seseorang didalamnya yang telah mendukung dan memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

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

Bogor, Juli 2026

*Adriano Excel Putra*



## DAFTAR ISI

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| DAFTAR TABEL                                          | xi |
| DAFTAR GAMBAR                                         | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN                                       | xi |
| PENDAHULUAN                                           | 1  |
| 1.1 Latar Belakang                                    | 1  |
| 1.2 Tujuan                                            | 2  |
| TINJAUAN PUSTAKA                                      | 3  |
| 2.1 <i>Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)</i> | 3  |
| 2.1.1 <i>Framing and Windowing</i>                    | 3  |
| 2.1.2 <i>Discrete Fourier Transform</i>               | 4  |
| 2.1.3 <i>Mel- Frequency Warping</i>                   | 5  |
| 2.1.4 <i>Discrete Cosine Transformation</i>           | 5  |
| 2.2 <i>Optimal Transport (Wasserstein Distance)</i>   | 5  |
| 2.3 Uji Beda                                          | 6  |
| 2.3.1 Uji Normalitas Shapiro-Wilk                     | 6  |
| 2.3.2 Uji-t ( <i>Independent sample t-test</i> )      | 6  |
| 2.3.3 Uji Mann-Whitney U                              | 7  |
| 2.4 <i>Effect Size</i>                                | 7  |
| 2.5 <i>Support Vector Machine</i>                     | 8  |
| 2.6 <i>K-Fold Cross Validation</i>                    | 9  |
| 2.7 Evaluasi Model Klasifikasi                        | 10 |
| METODE                                                | 12 |
| 3.1 Data                                              | 12 |
| 3.2 Prosedur Analisis Data                            | 12 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN                                  | 16 |
| 4.1 Eksplorasi Data                                   | 16 |
| 4.2 Pemodelan SVM                                     | 19 |
| SIMPULAN DAN SARAN                                    | 26 |
| 5.1 Simpulan                                          | 26 |
| 5.2 Saran                                             | 26 |
| DAFTAR PUSTAKA                                        | 27 |
| LAMPIRAN                                              | 30 |
| Riwayat Hidup                                         | 33 |

## DAFTAR TABEL

|   |                                                                                                                           |    |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Skenario pembagian fitur lagu                                                                                             | 13 |
| 2 | Skenario <i>hyperparameter tuning sigma scale dan parameter regularisasi</i> pada pemodelan SVM <i>precomputed kernel</i> | 15 |
| 3 | Hasil uji normalitas MFCC antar kelas                                                                                     | 18 |
| 4 | Hasil uji Mann-Whitney                                                                                                    | 18 |
| 5 | Perbandingan hasil model data latih dan data uji                                                                          | 19 |
| 6 | Hasil <i>cross validation</i> pada tiap <i>fold</i>                                                                       | 20 |
| 7 | Performa model SVM terbaik                                                                                                | 21 |

## DAFTAR GAMBAR

|    |                                                                                                        |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1  | Algoritma MFCC dalam transformasi musik                                                                | 3  |
| 2  | Ilustrasi klasifikasi SVM (Kecman 2005)                                                                | 8  |
| 3  | Ilustrasi <i>k-fold cross validation</i>                                                               | 9  |
| 4  | Ilustrasi <i>confusion matrix</i>                                                                      | 10 |
| 5  | Diagram alir prosedur analisis data                                                                    | 12 |
| 6  | <i>Heatmap</i> perbandingan (a)MFCC lagu AI dan (b) MFCC lagu manusia                                  | 16 |
| 7  | Visualisasi boxplot (a) distribusi MFCC ordo 1-5 dan (b) distribusi MFCC ordo 6-40                     | 17 |
| 8  | <i>Learning curve</i> model SVM                                                                        | 21 |
| 9  | <i>Confusion matrix (a)</i> data latih dan (b) <i>confusion matrix data uji</i> pada model SVM terbaik | 22 |
| 10 | Profil MFCC lagu salah klasifikasi                                                                     | 23 |
| 11 | Profil MFCC sampel lagu                                                                                | 24 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|   |                                                               |    |
|---|---------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Ilustrasi tahapan pra-pemrosesan audio sebelum ekstraksi MFCC | 30 |
| 2 | Tahapan ekstraksi fitur MFCC                                  | 30 |
| 3 | Hasil uji normalitas MFCC 40 koefisien                        | 31 |
| 4 | Hasil uji Mann-Whitney                                        | 32 |