

**DETEKSI DAN KLASIFIKASI TANDA MULA PADA
PARTITUR BERNOTASI BALOK DENGAN YOLOv8
DAN *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK***

Tugas Akhir



Dibuat oleh:

IGNASIUS AXEL COKRODIHARJO

210711214

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

DETEKSI DAN KLASIFIKASI TANDA MULA PADA PARTITUR BERNOTASI BALOK DENGAN
YOLOV8 DAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

yang disusun oleh

Ignasius Axel Cokrodiharjo

210711214

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 27 Januari 2026

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: Prof. Dr. Andi Wahyu Rahardjo Emanuel, BSEE., MSSE	Telah Menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: Prof. Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, M.T.	Telah Menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: Prof. Dr. Andi Wahyu Rahardjo Emanuel, BSEE., MSSE	Telah Menyetujui
Penguji 2	: Aloysius Gonzaga Pradnya Sidhawara, S.T., M.Eng.	Telah Menyetujui
Penguji 3	: Th. Devi Indriasari, S.T.,M.Sc., Ph.D.	Telah Menyetujui

Yogyakarta, 27 Januari 2026

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Teknologi Industri

Dekan

ttd.

Prof. Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng.

Dokumen ini merupakan dokumen resmi UAJY yang tidak memerlukan tanda tangan karena dihasilkan secara elektronik oleh Sistem Bimbingan UAJY. UAJY bertanggung jawab penuh atas informasi yang tertera di dalam dokumen ini

PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ignasius Axel Cokrodiharjo
NPM : 210711214
Program Studi : Informatika
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Penelitian : Deteksi dan Klasifikasi Tanda Mula Pada Partitur Bernotasi
Balok Dengan YOLOv8 dan *Convolutional Neural Network*

Menyatakan dengan ini:

1. Tugas Akhir ini adalah benar tidak merupakan Salinan sebagian atau keseluruhan dari karya penelitian lain.
2. Memberikan kepada Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas penelitian ini, berupa hak untuk menyimpan, mengelola, mendistribusikan dan menampilkan hasil penelitian selama tetap mencantumkan nama penulis.
3. Bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum atas pelanggaran Hak Cipta dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 9 Januari 2025

Yang menyatakan,

Ignasius Axel Cokrodiharjo

210711214

"Janganlah kehendakku, melainkan kehendak-Mu"

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur diucapkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus yang telah melindungi dan memberkati penulis dengan kasih karunia-Nya, sehingga pengerjaan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan baik. Proses pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir ini mendapatkan banyak doa dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, diucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah mencurahkan kasih dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Radjiwan Tjokrodihardjo dan Ibu Jenny Tanotogono, S.E., selaku orang tua, juga Raymundus Leonardo Cokrodiharjo, S.T., Albertus Elmer Cokrodiharjo, S.Ak., dan Petrus Leonidas Cokrodiharjo, selaku kakak dan adik, yang semuanya, selalu memberikan dukungan dan doa.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Parama Kartika Dewa SP., S.T., M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Bapak Thomas Adi Purnomo Sidhi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Informatika Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Bapak Prof. Dr. Andi Wahyu Rahardjo Emanuel, BSEE., MSSE., selaku dosen pembimbing I. Terima kasih banyak untuk seluruh waktu, bimbingan, kritik, saran, dan dukungan yang telah diberikan.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Albertus Joko Santoso M.T., selaku dosen pembimbing II. Terima kasih banyak untuk seluruh waktu, bimbingan, kritik, saran, dan dukungan yang telah diberikan.
7. Seluruh *staff* dan tenaga pengajar di Fakultas Teknologi Industri yang telah membantu dan mendukung proses perkuliahan dari awal sampai akhir.
8. Mas Yason Christy Pranowo, S.Sn, selaku pelatih Paduan Suara Mahasiswa Atma Jogja yang terus mengajarkan arti kesetiaan, usaha, dan kerja keras.
9. Seluruh anggota dan keluarga besar Paduan Suara Mahasiswa Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah menjadi bagian dari cerita dan kenangan tak terlupakan melalui berbagai dinamikanya.

10. Seluruh anggota Himpunan Mahasiswa Informatika Universitas Atma Jaya periode 2021/2022 dan 2022/2023 yang telah berproses dan berdinamika bersama dengan berbagai ceritanya.
11. Seluruh rekan Kuliah Kerja Nyata 85 di Desa Mengesta, Bali, dan seluruh umat di Stasi St. Mikael Tabanan yang telah membagikan berbagai kisah dan pengalaman tak terlupakan.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini.

Yogyakarta, 9 Januari 2026

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
INTISARI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Penelitian	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Metode Penelitian.....	5
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
BAB III LANDASAN TEORI.....	13
A. Common Western Musical Notation (CWMN)	13
B. <i>Optical Music Recognition</i> (OMR).....	14
C. Pengolahan Citra Digital	15
D. <i>Deep Learning</i>	17
E. <i>Convolutional Neural Network</i>	18
F. <i>Adaptive Moment Estimation</i> (Adam).....	22
G. <i>Object Detection</i> dan YOLO (<i>You Only Look Once</i>).....	24
H. Evaluasi Performa Model.....	25
BAB IV PERANCANGAN DATASET.....	29
A. Deskripsi Permasalahan	29
B. Deskripsi Perancangan Dataset	29
C. Perancangan Dataset Deteksi Objek (<i>Object Detection</i>)	30
D. Perancangan Dataset Klasifikasi Citra (<i>Image Classification</i>)	36
BAB V PENGEMBANGAN MODEL	42

A. Pengembangan Model Deteksi (YOLOv8).....	42
B. Pengujian Validitas Deteksi pada Data <i>Testing</i>	45
C. Pengembangan Model Klasifikasi (CNN)	47
D. Pengujian Validitas Klasifikasi pada Data <i>Testing</i>	51
BAB VI IMPLEMENTASI MODEL DAN PENGUJIAN SISTEM.....	53
A. Lingkungan Implementasi.....	53
B. Implementasi Model Deteksi dan Klasifikasi <i>Real-time</i>	54
C. Analisis Pengujian Sistem Secara <i>Real-time</i>	55
D. Analisis Kegagalan pada Pengujian Sistem <i>Real-Time</i>	57
BAB VII PENUTUP	60
A. Kesimpulan	60
B. Saran.....	61
LAMPIRAN.....	62
DAFTAR PUSTAKA	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian.....	5
Gambar 3.1 Tanda Mula pada Kunci G dan F.....	13
Gambar 3.2 Perbedaan Tanda Mula dan Tanda Kromatis.....	14
Gambar 3.3 Gambaran umum proses OMR.....	15
Gambar 3.4 <i>Max Pooling</i> dengan Filter 3×3	20
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> Perancangan Dataset Deteksi Objek.....	30
Gambar 4.2 Contoh <i>Scan</i> Partitur PSM UAJY	31
Gambar 4.3 Contoh <i>Scan</i> Partitur CPDL	31
Gambar 4.4 Anotasi Dataset Deteksi pada Roboflow	32
Gambar 4.5 Contoh <i>Negative Samples</i>	33
Gambar 4.6 Perbandingan Partitur Sebelum dan Sesudah Augmentasi.....	34
Gambar 4.7 Perbandingan Partitur Sebelum dan Sesudah <i>Resizing</i>	35
Gambar 4.8 <i>Flowchart</i> Perancangan Dataset Klasifikasi Citra	36
Gambar 4.9 Contoh Hasil Pembuatan Citra dengan Musescore 3	37
Gambar 4.10 Contoh Pemotongan Citra dengan Photo Editor	38
Gambar 5.1 Grafik Penurunan Loss pada <i>Training</i> Model Deteksi.....	44
Gambar 5.2 Grafik Peningkatan Performa <i>mAP50</i> dan <i>mAP50–95</i>	44
Gambar 5.3 Metrik Pengujian Model Deteksi pada Data <i>Testing</i>	45
Gambar 5.4 <i>Confusion Matrix</i> dari Pengujian Model Deteksi.....	46
Gambar 5.5 Kondisi Partitur yang Gagal di Deteksi	46
Gambar 5.6 Grafik <i>Loss</i> dan Akurasi pada <i>Training</i> Model Klasifikasi.....	51
Gambar 5.7 <i>Confusion Matrix</i> dari Pengujian Model Klasifikasi.....	52
Gambar 6.1 Hasil Pengujian Citra dengan Perubahan Tanda Mula.....	56
Gambar 6.2 Hasil Pengujian Citra dengan <i>Accidentals</i>	56
Gambar 6.3 Hasil Pengujian Citra Tanpa Tanda Mula.....	57
Gambar 6.4 Analisis Sampel dengan Akurasi < 80%	57
Gambar 6.5 Kesalahan Klasifikasi pada Sampel <i>Test (25).jpg</i>	58
Gambar 6.6 <i>Region of Interest</i> pada Sampel <i>Test (25).jpg</i>	59
Gambar 6.7 <i>Region of Interest</i> pada Sampel <i>Test (48).jpg</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Kajian Penelitian	11
Tabel 4.1 Rincian Data <i>Split</i> Deteksi Sebelum Augmentasi	34
Tabel 4.2 Parameter Augmentasi Dataset Deteksi	34
Tabel 4.3 Distribusi Dataset Deteksi	36
Tabel 4.4 Parameter Augmentasi Dataset Klasifikasi	38
Tabel 4.5 Rincian Data <i>Split</i> Klasifikasi	40
Tabel 4.6 Distribusi Dataset Klasifikasi	40
Tabel 5.1 Konfigurasi <i>Training</i> Model Deteksi	42
Tabel 5.2 Arsitektur CNN untuk Klasifikasi	47
Tabel 6.1 Spesifikasi Perangkat Keras	53
Tabel 6.2 Spesifikasi Perangkat Lunak	53
Tabel 6.1 Matriks Performa Deteksi dan Klasifikasi Sistem	55

INTISARI

DETEKSI DAN KLASIFIKASI TANDA MULA PADA PARTITUR BERNOTASI BALOK DENGAN YOLOv8 DAN *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*

Ignasius Axel Cokrodiharjo

21071214

Optical Music Recognition (OMR) memegang peranan yang penting dalam digitalisasi dokumen musik. Akan tetapi, proses ini memiliki keterbatasan dalam mendeteksi objek kecil seperti tanda mula (*key signatures*). Masalah utama terdapat pada ambiguitas visual antara tanda mula dan *accidentals* yang memiliki bentuk serupa. Selain itu, ketiadaan representasi visual pada tangga nada C Mayor sering menyebabkan kegagalan deteksi tanda mula pada model konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang mampu mendeteksi tanda mula, membedakannya dari objek lain, dan mengklasifikasikan 15 jenis tanda mula secara *real-time* dengan akurat.

Penelitian ini mengusulkan arsitektur *two-stage pipeline* yang menggabungkan algoritma YOLOv8 sebagai detektor dan *Convolutional Neural Network* (CNN) sebagai klasifikator. Dataset deteksi dikembangkan dari arsip partitur asli dengan menerapkan strategi *negative sample* di mana 25% dari dataset merupakan citra tanpa tanda mula untuk melatih model mengenali kelas C Mayor. Selain itu, dataset klasifikasi dikembangkan melalui pendekatan data sintesis generatif dengan *library* Music21 dan diaugmentasi oleh *library* Albumentation untuk menjamin variasi citra. Kedua model diintegrasikan dengan logika hierarkis: jika ditemukan objek, citra diproses oleh CNN; jika tidak, sistem menyimpulkan citra sebagai C Mayor. Optimalisasi lebih lanjut dilakukan dengan mengonversi model ke format TensorFlow Lite (TFLite) untuk efisiensi komputasi pada perangkat spesifikasi menengah ke bawah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan mencapai performa yang baik. Model detektor YOLOv8s berhasil membedakan area tanda mula dari *accidentals* dengan skor *Precision* dan *Recall* sebesar 1.0, serta mAP50-95 sebesar 0,847. Model klasifikasi CNN juga menghasilkan akurasi 100% pada pengujian 15 kelas tanda mula. Secara keseluruhan, sistem integrasi terbukti mampu menangani kasus *null class* dengan menyimpulkan ketiadaan objek sebagai C Mayor tanpa *false positive*. Implementasi sistem secara *real-time* dengan kamera laptop menghasilkan *inference time* rata-rata di bawah 50 ms. Hal ini membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan efektif, akurat, dan layak untuk aplikasi OMR.

Kata kunci: *Optical Music Recognition, YOLOv8, Convolutional Neural Network, Deteksi Tanda Mula, Two-Stage Deep Learning*