**LAPORAN TUGAS AKHIR**

***AI Engineering***

# KLASIFIKASI KERUSAKAN PRINTED CIRCUIT BOARD MENGGUNAKAN YOLO DENGAN VALIDASI BERBASIS ANALISIS MORFOLOGI

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Mencapai Derajat Sarjana Komputer**


**Yohanes Krisostomus Brahmantya**

**210711282**



**PROGRAM STUDI INFORMATIKA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**


**2026**

# HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

KLASIFIKASI KERUSAKAN PRINTED CIRCUIT BOARD MENGGUNAKAN YOLO DENGAN VALIDASI BERBASIS ANALISIS MORFOLOGI

yang disusun oleh

Yohanes Krisostomus Brahmantya

210711282

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 29 Juli 2026

| | | | Keterangan |
|---|---|---|---|
| Dosen Pembimbing 1 | : | Th. Adi Purnomo Sidhi, S.T., M.T. | Telah Menyetujui |
| Dosen Pembimbing 2 | : | Yulius Harjoseputro, S.T., M.T., Ph.D. | Telah Menyetujui |
| | | | |
| Tim Penguji | | | |
| Penguji 1 | : | Th. Adi Purnomo Sidhi, S.T., M.T. | Telah Menyetujui |
| Penguji 2 | : | Dr. B. Yudi Dwiandiyanta, S.T.,M.T. | Telah Menyetujui |
| Penguji 3 | : | Dra. Ernawati, M.T., Ph.D. | Telah Menyetujui |

Yogyakarta, 29 Juli 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

# LEMBAR PENGESAHAN

**KLASIFIKASI KERUSAKAN PRINTED CIRCUIT BOARD MENGGUNAKAN YOLO DENGAN VALIDASI BERBASIS ANALISIS MORFOLOGI**

**Yogyakarta, 28 Juli 2026**

**Yohanes Krisostomus Brahmantya**
**210711282**

**Menyetujui,**

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| Th. Adi Purnomo Sidhi, S.T., M.T. | Yulius Harjoseputro, S.T., M.T., Ph.D. |
| **Penguji I** | **Penguji II** |
| Dr. B. Yudi Dwiandiyanta, S.T.,M.T. | Dra. Ernawati, M.T., Ph.D. |

**Mengetahui,**
**Dekan Fakultas Teknologi Industri**

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

# PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

| | |
|---|---|
| Nama Lengkap | : Yohanes Krisostomus Brahmantya |
| NPM | : 210711282 |
| Program Studi | : Informatika |
| Fakultas | : Teknologi Industri |
| Judul Penelitian | : Klasifikasi Kerusakan Printed Circuit Board Menggunakan YOLO Dengan Validasi Berbasis Analisis Morfologi |

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, 28 Juli 2026

Yang menyatakan,

Yohanes Krisostomus Brahmantya

210711282

# HALAMAN PERSEMBAHAN

**Semua akan indah pada waktu-Nya**

**Halaman persembahan ini ditujukan untuk orangtua, keluarga, rekan sejawat.**

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan pembuatan Tugas Akhir "Klasifikasi Kerusakan Printed Circuit Board Menggunakan YOLO Dengan Validasi Berbasis Analisis Morfologi" ini dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana komputer dari Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri di Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan tugas akhir ini penulis telah mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu membimbing dalam iman-Nya, memberikan berkat-Nya, dan menyertai penulis selalu.
2. Bapak Thomas Adi Purnomo Sidhi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Yulius Harjoseputro, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Pihak-pihak yang memberikan kontribusi nyata dalam tugas akhir. Contoh: penyedia data/proyek, dosen pembimbing, rekan sejawat yang membantu proses penelitian, dsb.

Demikian laporan tugas akhir ini dibuat, dan penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 28 Juli 2026

Yohanes Krisostomus Brahmantya

210711282

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ..... ii
PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH..... iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....iv
KATA PENGANTAR .....v
DAFTAR ISI.....vi
DAFTAR GAMBAR .....x
DAFTAR TABEL.....xi
DAFTAR LAMPIRAN..... xii
ABSTRAK ..... xiii
BAB I PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang .....1
1.2 Rumusan Masalah .....3
1.3 Batasan Penelitian .....4
1.4 Pertanyaan Penelitian.....5
1.5 Tujuan Penelitian .....5
1.6 Manfaat Penelitian .....5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....6
2.1 Tinjauan Pustaka .....6
2.1.1. Penerapan klasifikasi kerusakan PCB dengan representasi *bounding box* 6
2.1.2. Penerapan deteksi citra berbasis YOLO .....7
2.1.3. Penerapan *Deep Learning* untuk Klasifikasi kerusakan PCB.....9
2.1.4. Penerapan analisis morfologi pada PCB .....10
2.1.5. Penerapan Analisis Morfologi untuk Interpretasi dan Validasi Hasil Klasifikasi .....11
2.2 Celah Penelitian .....12
2.3 Landasan Teori.....17

2.3.1. *Supervised Learning* ..... 17
2.3.2. Klasifikasi ..... 17
2.3.3. *Convolutional Neural Network* (CNN) ..... 18
2.3.4. *You Only Look Once* (YOLO) ..... 19
2.3.5. *Matriks Evaluasi* ..... 20
2.3.6. PCB *(Printed Circuit Board)* ..... 21
2.3.7. Semantic segmentation dan implementasinya pada U-Net ..... 23
2.3.8. Operasi Morfologi ..... 25
2.3.8.1. Skeletonization ..... 27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 29
3.1 Pengantar ..... 29
3.2 Tahapan Penelitian ..... 30
3.2.1. *Dataset Development* ..... 32
3.2.1.1. *Data Collection* ..... 32
3.2.1.2. *Data Preparation* ..... 33
3.2.2. *Model Development* ..... 33
3.2.2.1. *Feature Engineering* ..... 34
3.2.2.2. *Model Configuration* ..... 34
3.2.2.3. *Model Training* ..... 34
3.2.2.4. *Model Evaluation* ..... 34
3.2.2.5. *Model Implementation* ..... 34
3.3 Usulan Solusi ..... 35
3.4 Pengumpulan Data ..... 35
3.5 *Setting* Penelitian ..... 36
3.6 Alat Bantu atau *Tools* yang Digunakan ..... 37

3.7 Evaluasi ..... 38
BAB IV IMPLEMENTASI ..... 40
4.1 Pengantar ..... 40
4.2 *Dataset Development* ..... 42
4.2.1. *Data Collection* ..... 42
4.2.2. *Dataset Development YOLOv11* ..... 43
4.2.3. *Dataset Development U-Net* ..... 44
4.3 *Model Development* ..... 45
4.3.1. *Data Exploration* ..... 45
4.3.2. *Data Preprocessing* ..... 48
4.3.3. Model Training ..... 49
4.3.3.1. YOLOv11 Model Training ..... 50
4.3.3.2. U-Net Model Training ..... 52
4.3.4. Morphological Rule Development ..... 54
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 57
5.1 Pengantar ..... 57
5.2 Hasil Pengembangan Model ..... 57
5.2.1. *Model Evaluation Metrics* ..... 57
5.2.1.1. Hasil Pelatihan Model YOLOv11 ..... 58
5.2.1.2. Hasil Pelatihan Model U-net ..... 60
5.2.2. *Model Implementation* ..... 63
5.2.2.1. Implementasi Model YOLOv11 ..... 64
5.2.2.2. Implementasi Model U-net ..... 66
5.3 Hasil Verifikasi Morfologi ..... 69
5.3.1. Skeletonization ..... 69
5.3.2. Rule Development ..... 70

5.4 Pembahasan ..... 71
5.4.1. Analisis Performa Model YOLOv11 dalam Klasifikasi Kerusakan PCB 72
5.4.2. Analisis Verifikasi Klasifikasi Menggunakan Analisis Morfologi ..... 74
5.4.3. Analisis Mekanisme Verifikasi Berbasis *Masking*, *Skeletonization*, dan *Rule-Based Analysis* ..... 76
5.4.4. Analisis Implementasi Sistem Menggunakan Streamlit ..... 78
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN ..... 80
6.1 Kesimpulan ..... 80
6.2 Saran ..... 81
DAFTAR PUSTAKA ..... 82
LAMPIRAN ..... 86

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.3.3.1 Ilustrasi CNN – sumber: medium.com.....19
Gambar 2.3.6.1 Ilustrasi jalur PCB.....22
Gambar 3.2.1 Alur Penelitian.....31
Gambar 3.2.1.2.1 anotasi folder untuk data *training* YOLO.....33
Gambar 4.1.1 Alur Implementasi Penelitian.....41
Gambar 4.2.2.1 Alur *Dataset Development* YOLOv11.....44
Gambar 4.2.3.1 Alur *Dataset Develompent U-Net*.....45
Gambar 4.3.1.1 Distribusi Kelas Jenis Kerusakan.....46
Gambar 4.3.1.2 Perbandingan Spurious Copper (kiri) dan Spur (kanan).....47
Gambar 4.3.4.1 Alur mekanisme klasifikasi hingga verifikasi.....56
Gambar 5.2.1.1.1 Hasil Evaluasi Model YOLOv11.....58
Gambar 5.2.1.2.1 Matriks performa model U-net.....62
Gambar 5.2.1.2.2 metriks skor per kelas.....63
Gambar 5.2.2.1.1 Alur Implementasi YOLOv11 pada Sistem.....64
Gambar 5.2.2.1.2 Contoh Hasil Deteksi YOLOv11 pada Kerusakan *Open Circuit*.....65
Gambar 5.2.2.1.3 Hasil Ekstraksi ROI Berdasarkan *Bounding Box*.....66
Gambar 5.2.2.2.1 Alur Implementasi U-NET pada Sistem.....67
Gambar 5.2.2.2.2 hasil segmentasi U-net.....68
Gambar 5.3.1.1 Alur Implementasi *Skeletonization*.....70

# DAFTAR TABEL

Tabel 2.2.1 Tabel Komparasi Penelitian Terdahulu.....14
Tabel 4.3.3.1.1 Tabel parameter model YOLO .....51
Tabel 4.3.3.2.1 Parameter pelatihan model U-Net.....54
Tabel 5.2.1.1.1 performa model YOLOv11.....59
Tabel 5.2.1.2.1 performa model U-net.....60
Tabel 5.2.1.2.2 Akurasi per kelas.....61
Tabel 5.2.2.1.1 Informasi Keluaran Model YOLOv11.....65
Tabel 5.2.2.2.1 Kelas Segmentasi yang digunakan dalam U-Net.....67
Tabel 5.3.2.1 Tabel *Rule Set* Analisis Morfologi.....71

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tahap Wawancara dengan narasumber .....86
Lampiran 2. Proses identifikasi jenis kerusakan – short .....87
Lampiran 3. Proses identifikasi jenis kerusakan – open circuit .....87

# ABSTRAK


## KLASIFIKASI KERUSAKAN PRINTED CIRCUIT BOARD MENGGUNAKAN YOLO DENGAN VALIDASI BERBASIS ANALISIS MORFOLOGI

Yohanes Krisostomus Brahmantya

210711282

**Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem klasifikasi kerusakan jalur *Printed Circuit Board* (PCB) yang mampu mendeteksi, mengklasifikasikan, dan memvalidasi hasil klasifikasi berdasarkan karakteristik geometris jalur PCB. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan pendekatan *deep learning* yang hanya mengandalkan karakteristik visual sehingga berpotensi menghasilkan kesalahan klasifikasi pada kerusakan dengan bentuk serupa.

**Metode Penelitian**

Penelitian menggunakan model YOLOv11 sebagai metode deteksi dan klasifikasi awal kerusakan PCB. Dataset PCB *Defects* dikembangkan melalui proses *cropping* dan penyesuaian tingkat kecerahan sehingga menghasilkan 12,326 citra pelatihan. Hasil deteksi kemudian disegmentasi menggunakan U-Net dan diverifikasi melalui analisis berbasis morfologi menggunakan teknik *skeletonization* dan *rule-based*. Integrasi dilakukan dalam aplikasi berbasis Streamlit.

**Hasil Penelitian**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model YOLOv11 mampu mengklasifikasikan enam jenis kerusakan PCB dengan performa yang baik berdasarkan metrik *Precision*, *Recall*, mAP@50, dan mAP@50-95. Model U-Net menghasilkan segmentasi dengan nilai *Pixel Accuracy* sebesar 94.40%, *Mean* IoU sebesar 67.02%, dan *Mean Dice* sebesar 70.78%, sehingga mampu menghasilkan representasi jalur PCB yang mendukung proses analisis morfologi. Mekanisme verifikasi berbasis analisis morfologi berhasil memberikan validasi terhadap hasil klasifikasi dengan memanfaatkan karakteristik struktur jalur PCB yang dapat dijelaskan secara logis.

**Implikasi dan Limitasi Penelitian**

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi klasifikasi berbasis *deep learning* dan verifikasi berbasis analisis morfologi mampu meningkatkan interpretabilitas proses klasifikasi kerusakan PCB serta memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih mudah dipahami. Namun demikian, penelitian masih menggunakan dataset sintetis dan mekanisme *rule-based* yang disusun secara manual untuk enam jenis kerusakan, sehingga pengembangan lebih lanjut diperlukan agar sistem mampu beradaptasi pada kondisi PCB nyata dan karakteristik kerusakan yang lebih beragam.



**Kata Kunci: *Printed Circuit Board* (PCB), YOLO, U-Net, Analisis Morfologi, Klasifikasi**