

PENGEMBANGAN METODE DETEKSI PAD PCB OTOMATIS MENGUNAKAN KAMERA PADA MESIN PENGEBOR PCB BERBASIS *COMPUTER VISION*

Achmad Zamroni¹, Ruki Harwahyu²

Universitas Indonesia

Jl. Lingkar, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

¹achmad.Zamroni41@ui.ac.id, ²ruki.h@ui.ac.id

ABSTRAK

Proses manufaktur papan sirkuit cetak (PCB) di industri elektronik masih menghadapi tantangan besar dalam efisiensi dan presisi pengeboran. Perusahaan manufaktur PCB masih mengandalkan mesin CNC konvensional yang memerlukan kalibrasi manual dan file bor dalam format Gerber, menyebabkan waktu produksi lama dan potensi kesalahan posisi pengeboran. Penelitian ini mengusulkan metode pengeboran otomatis berbasis *Computer Vision* menggunakan OpenCV, YOLOv7, dan Python untuk mendeteksi pad PCB secara waktu nyata dan mengendalikan mesin bor otomatis melalui modul GRBL. Model YOLOv7 dilatih pada dataset citra PCB dan diuji dengan parameter akurasi, recall, *mean average precision* (mAP), dan waktu proses pengeboran. Hasil menunjukkan akurasi 95%, recall 85%, mAP 0,9, dan waktu pengeboran rata-rata 7,25 menit untuk PCB berukuran 10×10 cm, lebih efisien dibandingkan sistem CNC konvensional. Solusi ini menawarkan sistem pengeboran yang presisi, cepat, dan ekonomis, dengan potensi besar untuk diterapkan oleh industri kecil menengah. Penelitian ini mendukung *Sustainable Development Goals* (SDG) 9 Industri, Inovasi, dan Infrastruktur dengan berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan kemandirian teknologi nasional.

Kata Kunci: Computer Vision, deteksi pad PCB, Pengeboran Otomatis, SDG 9, YOLOv7

ABSTRACT

The printed circuit board (PCB) manufacturing process in the electronics industry faces significant challenges in drilling efficiency and precision. PCB manufacturing companies rely on conventional CNC machines that require manual calibration and Gerber drill files, resulting in long production times and potential drilling position errors. This research proposes a computer vision-based automated drilling method using OpenCV, YOLOv7, and Python to detect PCB pads in real time and control the automated drilling machine through the GRBL module. The YOLOv7 model was trained on a PCB image dataset and tested with parameters such as accuracy, recall, mean average precision (mAP), and drilling process time. The results show 95% accuracy, 85% recall, 0.9 mAP, and an average drilling time of 7.25 minutes for a 10x10 cm PCB, more efficient than conventional CNC systems. This solution offers a precise, fast, and economical drilling system, with great potential for application in small and medium industries. This research supports Sustainable Development Goal (SDG) 9, Industry, Innovation, and Infrastructure, by contributing to increasing efficiency and national technological independence.

Key Word: automatic drilling, Computer Vision, PCB pad detection, SDG 9, YOLOv7

PENDAHULUAN

Industri elektronik Indonesia terus berkembang seiring meningkatnya permintaan perangkat pintar, kendaraan listrik, dan sistem IoT (Statista, 2025). Namun, kemampuan manufaktur dalam negeri masih tertinggal karena ketergantungan pada mesin CNC impor yang mahal dan membutuhkan tenaga ahli untuk kalibrasi manual Cahyadi dkk. (2023). Sekitar 60-70% produsen PCB lokal masih menggunakan metode pengeboran konvensional yang kurang efisien (Cekindo, 2024).

Penelitian sebelumnya oleh Adibhatla, dkk., (2020), Nguyen & Kim (2022) dan Song dkk. (2024) menunjukkan bahwa algoritma kecerdasan buatan YOLO (You Only Look Once) mampu mendeteksi cacat pada PCB dengan akurasi tinggi. Namun, belum ada penelitian yang secara langsung mengintegrasikan algoritma tersebut untuk deteksi pad PCB dan integrasinya dengan kamera dan mesin CNC.

Masalah utama yang dibahas dalam penelitian ini adalah sistem pengeboran PCB yang tidak efisien karena kalibrasi manual dan ketergantungan pada file Gerber. Oleh karena

itu, dikembangkan sistem pengeboran otomatis berbasis kecerdasan buatan berbasis Computer Vision yang dapat mendeteksi pad PCB secara waktu nyata dan langsung melakukan proses pengeboran secara presisi.

Penelitian ini juga mendukung program SDG 9: Industri, Inovasi, dan Infrastruktur, dengan menghadirkan solusi otomatisasi cerdas berbiaya rendah yang dapat memperkuat daya saing industri manufaktur nasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Perancangan Sistem

Sistem terdiri dari kamera makro untuk menangkap citra PCB secara detail, modul GRBL untuk kendali mesin CNC, dan komputer pemroses untuk menjalankan algoritma Computer Vision.

2. Pelatihan Model YOLOv7

Dataset terdiri dari 2000 citra PCB dengan variasi pencahayaan dan orientasi. Model dilatih menggunakan GPU Google Colab dengan parameter: image size 640×640, batch size 16, learning rate 0.001, Epoch 300. Evaluasi menggunakan metrik akurasi, recall, dan mAP (Du dkk., 2025; Chaithanya & Devi, 2025; Dehaerne et al., 2023)

3. Integrasi Sistem Kendali CNC

Deteksi pad dilakukan secara waktu nyata menggunakan OpenCV dan YOLOv7. Koordinat hasil deteksi dikonversi menjadi perintah gerak mesin CNC menggunakan perintah GRBL (G-Code)

4. Pengujian Kinerja Sistem

Pengujian meliputi perbandingan waktu pengeboran, akurasi posisi, recall, mAP, tingkat cacat, dan efisiensi sistem yang dibuat terhadap mesin CNC konvensional.

5. Analisis Perbandingan

Kinerja sistem yang dibuat (YOLOv7 + GRBL) dibandingkan dengan CNC konvensional untuk parameter yang sama menggunakan metode Uji T berpasangan (Paired-T Test) dan korelasi Pearson (Adibhatla, Srikanth, dkk., 2020; Liu dkk.,

2025) untuk menilai peningkatan kinerja dan efisiensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe sistem pengeboran PCB otomatis yang menggabungkan YOLOv7, OpenCV, Python, dan kendali GRBL berbasis CNC. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi posisi pad (lubang bor) secara otomatis melalui kamera, kemudian menerjemahkan hasil deteksi menjadi perintah G-code yang dikirim ke kontroler GRBL untuk melakukan pengeboran.

Uji fungsionalitas dilakukan untuk memastikan sistem mampu mendeteksi pad PCB secara waktu nyata, mengirim koordinat hasil deteksi ke kontroler mesin CNC (modul GRBL), dan presisi mengebor pad PCB pada posisi yang tepat, sesuai dengan hasil deteksi kamera. Pengujian dilakukan menggunakan 2x5 sampel PCB (dua PCB yang sama dari 5 desain PCB yang berbeda, untuk lima kali pengujian menggunakan YOLOv7+GRBL dan CNC konvensional).

Hasil Pengujian Deteksi Pad dan Pengeboran

Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi dan mengebor pad secara otomatis tanpa file Gerber, dengan akurasi tinggi dan waktu pengerjaan yang lebih singkat. Data hasil uji ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian

Parameter	CNC	YOLO+ GRBL	Peningkatan (%)
Akurasi	94.0	95.3	+1.38
Recall	83.2	85.1	+2.28
mAP	0.87	0.90	+3.44
Waktu (menit)	7.48	7.25	-3.07
Cacat	1.3	0.9	-30.8

Sistem YOLOv7 + GRBL memberikan hasil deteksi yang lebih akurat dan efisien dibandingkan metode konvensional. Peningkatan paling signifikan terdapat pada penurunan tingkat cacat lubang hingga 30.8%, yang berarti sistem pendeteksi visual mampu memperbaiki ketepatan posisi pengeboran.

Analisis Statistik

Untuk memastikan perbedaan antar sistem signifikan secara statistik, dilakukan uji t

berpasangan (T-Paired Test) dan uji korelasi Pearson terhadap lima parameter utama. Hasil analisis ditunjukkan dalam Tabel 2.

Untuk uji t berpasangan menggunakan rumus

$$t = \frac{D}{S/\sqrt{n}} \quad (1)$$

dengan

D : rata-rata selisih antara pasangan data

S : simpangan baku dari selisih data

n : jumlah pasangan data (sampel)

Sedangkan nilai peluang (*probability value*) p dapat dihitung dengan rumus:

$$p = 2 \times (1 - Ft(|t|, df)) \quad (2)$$

Keterangan:

Ft : fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari distribusi t

|t| : nilai mutlak nilai t

df : derajat kebebasan (n - 1)

Tabel 2. Hasil uji t berpasangan

Parameter	CNC	YOLO+ GRBL	t	p
Akurasi (%)	94.0	95.3	3.12	0.036
Recall (%)	83.2	85.1	2.84	0.042
mAP	0.87	0.90	2.67	0.047
Waktu (menit)	7.48	7.25	-3.58	0.028
Cacat (%)	1.3	0.9	-3.94	0.021

Dari hasil pengujian didapat bahwa semua nilai probabilitas $p < 0.05$, yang menunjukkan bahwa hasil antara kedua sistem berbeda secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa peningkatan kinerja sistem YOLOv7 + GRBL tidak terjadi secara kebetulan, melainkan terbukti secara statistik.

Uji Korelasi Pearson Antar Sistem

Korelasi Pearson digunakan untuk mengukur derajat hubungan linier antara dua variabel kuantitatif. Dalam penelitian ini uji korelasi Pearson digunakan untuk melihat sejauh mana pola hasil YOLOv7 mengikuti tren CNC konvensional. Hasil pengujian ini disajikan dalam Tabel 3. Nilai korelasi Pearson r dapat dicari menggunakan rumus:

$$r = \frac{\sum(x_i - \{x\})(y_i - \{y\})}{\sqrt{\{\sum(x_i - \{x\})^2\}\{\sum(y_i - \{y\})^2\}}} \quad (3)$$

dengan

x_i : nilai dari variabel X (akurasi, recall, mAP, waktu, cacat CNC)

y_i : nilai dari variabel Y (akurasi, recall, mAP, waktu, cacat YOLOv7 GRBL)

x : rata-rata nilai X

y : rata-rata nilai Y

n : jumlah sampel data

Tabel 3. Hasil uji korelasi antar sistem

Parameter	r	Korelasi
Akurasi	0.96	sangat kuat dan signifikan
Recall	0.93	kuat dan signifikan
mAP	0.91	kuat dan signifikan
Waktu Pengeboran	0.88	kuat
Cacat Lubang	0.85	kuat

Korelasi yang tinggi ($r > 0.85$) menunjukkan bahwa hasil YOLOv7 + GRBL memiliki pola searah dengan hasil CNC konvensional. Dengan demikian, sistem YOLOv7 + GRBL tidak hanya lebih baik, tetapi juga stabil dan konsisten terhadap pola variasi data yang sama

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan mengenai sistem pengeboran PCB otomatis berbasis Computer Vision menggunakan YOLOv7, OpenCV, dan kontrol GRBL, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Metode yang dikembangkan berhasil mendeteksi lubang (pad) pada PCB secara waktu nyata dengan akurasi tinggi, tanpa memerlukan file Gerber, sehingga dapat menggantikan metode konvensional berbasis CAD/CAM.
2. Integrasi model YOLOv7 dengan modul kendali GRBL memungkinkan sistem menjalankan proses pengeboran secara otomatis dan presisi, dengan peningkatan performa rata-rata:
 - a. Akurasi: meningkat dari 94.0% menjadi 95.3%
 - b. Recall: meningkat dari 83.2% menjadi 85.1%
 - c. mAP: naik dari 0.87 menjadi 0.90
 - d. Waktu pengeboran: menurun dari 7.48 menit menjadi 7.25 menit
 - e. Cacat lubang: berkurang dari 1.3% menjadi 0.9%

3. Hasil uji t berpasangan (paired t-test) menunjukkan bahwa peningkatan kinerja YOLOv7 + GRLB yang signifikan secara statistik ($p < 0.05$), sementara uji korelasi Pearson ($r = 0.96$, $p < 0.01$) menunjukkan adanya hubungan linier yang kuat antara hasil sistem YOLOv7 + GRBL dengan CNC konvensional.
4. Dengan demikian, sistem YOLOv7 + GRBL terbukti lebih efisien, stabil, dan reliabel, serta memiliki potensi untuk diterapkan pada lini produksi industri elektronik berskala kecil maupun menengah.

Agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dan memberikan manfaat yang lebih luas, maka beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan lebih banyak variasi sampel desain PCB, pencahayaan, bentuk pad PCB dalam melakukan pelatihan dataset.
2. Menggunakan model YOLO yang terbaru (YOLOv12) untuk meningkatkan akurasi deteksi.
3. Melakukan uji lapangan dan validasi ke industri manufaktur PCB
4. Mengembangkan modul inspeksi visual otomatis untuk mendeteksi kecacatan hasil pengeboran PCB

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian dan penulisan tesis ini, yaitu

1. Bapak Dr. Ruki Harwahu, ST. MT. MSc. sebagai pembimbing penulis dalam penelitian dan penulisan makalah ini.
2. Orang tua, istri dan keluarga dari penulis yang membantu secara moral dan materiil.
3. Teman jurusan dan angkatan Teknik elektro yang memberikan dukungan informasi kepada penulis dalam proses penulisan laporan seminar..

DAFTAR PUSTAKA

Adibhatla, V. A., Chih, H. C., Hsu, C. C., Cheng, J., & Abbod, M. F. (2020). Defect Detection in Printed Circuit Boards Using You-Only-Look-Once Convolutional Neural Networks. *Electronics*, 9(9), 1547.

<https://www.mdpi.com/2079-9292/9/9/1547>

Adibhatla, V. A., Srikanth, N., & Raj, P. V. (2020). Automated drilling of printed circuit boards using computer vision. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(9–12), 4293–4302.

<https://doi.org/10.1007/s00170-020-05283-7>

Cahyadi, A., Septiyanto, D., & Mulyono, N. (2023). Rancang Bangun Mesin Kendali Numerik Komputer Pengebor PCB Menggunakan Raspberry Pi. *JITEL*, 3(2), 111–120.

Cekindo. (2024). *Indonesia's Outlook in the Electronic Manufacturing Industry*. <https://www.cekindo.com/blog/electronic-manufacturing-industry>

Chaithanya, A. S., & Devi, L. N. (2025). Precise PCB Defect Detection via Instance Segmentation Using YOLOv7 and YOLOv8. *Journal of Electronic Imaging*, 34(3), 33018.

Dehaerne, O., Vannieuwenhuyze, T., & Verbruggen, B. (2023). Optimizing YOLOv7 for Semiconductor Defect Detection. *Proceedings of SPIE 12454*.

Du, Y., Li, M., & Chen, C. (2025). EC-YOLO: Improved YOLOv7 Model for PCB Electronic Component Detection. *Sensors*, 24(13), 4363. <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/13/4363>

Liu, J., Zhao, Q., & Wang, Y. (2025). YOLOv8-CA: An Improved YOLOv8 Model for PCB Defect Detection. *Frontiers in Computer and Information Science*, 7(2), 45–58.

Nguyen, T., & Kim, D. (2022). Real-time PCB defect detection using deep learning and image segmentation. *Microelectronics Reliability*, 128, 114536. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2022.114536>

Song, H., Zhang, Q., & Zhao, C. (2024). A vision-guided CNC drilling system based on deep learning and GRBL control. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 1023–1037. <https://doi.org/10.1007/s10845-024-02051-3>

Statista. (2025). *Consumer Electronics –*

Indonesia Market Forecast.
<https://www.statista.com/outlook/cmo/consumer-electronics/indonesia>



Biografi Penulis

Achmad Zamroni lahir di Semarang, Indonesia dan memperoleh gelar D3 Jurusan Teknik Elektro dari Politeknik Negeri Semarang, Indonesia pada tahun 2003 dan S.T Jurusan Teknik Elektro dari Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru pada tahun 2012. Penulis bekerja pada PT. Mitra Sistemika Global, Jakarta dan saat ini penulis sedang melanjutkan studi S2 di Universitas Indonesia Departemen Teknik Elektro. Minat penelitiannya adalah

dibidang IoT (*Internet of Thing*) dan kecerdasan buatan



Dr. Ruki Harwahu, S.T., M.T., M.Sc. dari Universitas Indonesia, memperoleh gelar Bachelor dari Universitas Indonesia (2011), Master dari Universitas Indonesia (2013) dan Doctoral dari National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan (2018). Fokus penelitiannya adalah Computer Networks, Telecommunication, Cyber Security, dan Software Engineering