

**IMPROVING EXCAVATOR CYCLE TIME MEASUREMENT USING
OPENCV WITH THE WATERFALL METHOD FOR HEAVY EQUIPMENT
OPERATIONAL OPTIMIZATION**

By

Yuli Darmawan
12307038

BACHELOR'S DEGREE
in

INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY



SWISS GERMAN UNIVERSITY
The Prominence Tower
Jalan Jalur Sutera Barat No. 15, Alam Sutera
Tangerang, Banten 15143 - Indonesia

July 2025
Revision After Thesis Defense on July 9, 2025

STATEMENT BY THE AUTHOR

I hereby declare that this submission is my own work and to the best of my knowledge, it contains no material previously published or written by another person, nor material which to a substantial extent has been accepted for the award of any other degree or diploma at any educational institution, except where due acknowledgement is made in the thesis.



Yuli Darmawan

Student

21/7/2025
Date

Approved by:

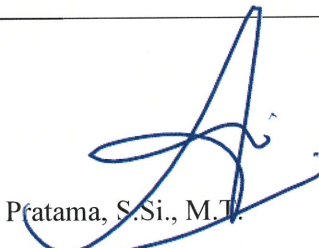


Dr. Maulahikmah Galinium, S.Kom, M.Sc.

21 July 2025

Thesis Advisor

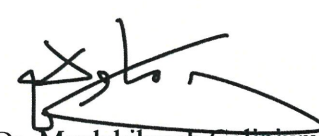
Date



Dr. Eng. Aditya Tirta Pratama, S.Si., M.T.

Thesis Co-Advisor

21/7/2025
Date



Dr. Maulahikmah Galinium, S.Kom, M.Sc.

Dean

21 July 2025

Date

ABSTRAK

IMPROVING EXCAVATOR CYCLE TIME MEASUREMENT USING OPENCV WITH THE WATERFALL METHOD FOR HEAVY EQUIPMENT OPERATIONAL OPTIMIZATION

By

Yuli Darmawan

Dr. Maulahikmah Galinium, S.Kom, M.Sc., Advisor
Dr.Eng. Aditya Tirta Pratama, S.Si., M.T., Co-Advisor

SWISS GERMAN UNIVERSITY

Pengukuran *cycle time excavator* merupakan indikator penting dalam menilai produktivitas alat berat, khususnya di sektor pertambangan dan konstruksi. Metode manual yang umum digunakan memiliki keterbatasan dari segi efisiensi, akurasi, dan keselamatan kerja. Penelitian ini mengembangkan sistem otomatis berbasis OpenCV untuk mengukur *cycle time excavator* melalui analisis visual dari rekaman video, dengan pendekatan pengembangan perangkat lunak menggunakan metode *Waterfall*. Sistem secara otomatis mendeteksi fase siklus excavator, meliputi aktivitas menggali, mengayun, membuang material, dan kembali ke posisi awal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan akurasi pengukuran dan mengurangi keterlibatan manusia di area berisiko tinggi. Evaluasi performa sistem menghasilkan nilai *Mean Average Precision* (MAP) sebesar 94%, *Mean Absolute Error* (MAE) 1,53 detik, *Mean Percentage Error* (MPE) 16,86%, koefisien korelasi Pearson (r) sebesar 0,9975, *standard deviation* 1,19, dan *variance* 1,41. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem deteksi visual yang dikembangkan memiliki potensi sebagai solusi efektif dan berkelanjutan untuk optimalisasi operasional alat berat di lapangan secara aman, efisien, dan berbasis teknologi.

Kata kunci: Cycle time, Excavator, OpenCV, Waterfall, Deteksi objek, Produktivitas alat berat

ABSTRACT

IMPROVING EXCAVATOR CYCLE TIME MEASUREMENT USING OPENCV WITH THE WATERFALL METHOD FOR HEAVY EQUIPMENT OPERATIONAL OPTIMIZATION

By

Yuli Darmawan

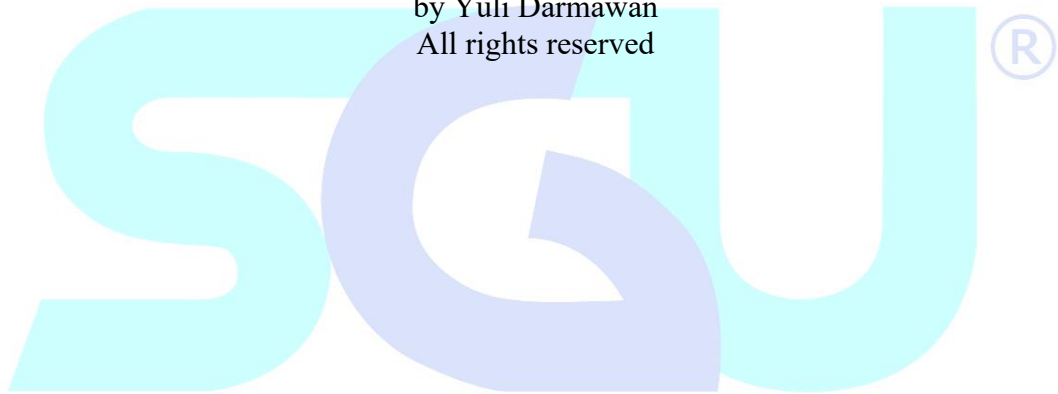
Dr. Maulahikmah Galinium, S.Kom, M.Sc., Advisor
Dr.Eng. Aditya Tirta Pratama, S.Si., M.T., Co-Advisor

SWISS GERMAN UNIVERSITY

Excavator cycle time measurement is a key indicator for evaluating heavy equipment productivity, particularly in the mining and construction sectors. The commonly used manual method has limitations in terms of efficiency, accuracy, and worker safety. This study developed an automated system based on OpenCV to measure excavator cycle time through visual analysis of video recordings, using the Waterfall method as the software development approach. The system automatically detects the excavator's operational phases, including digging, swinging, dumping, and returning to the initial position. Testing results indicate that the system improves measurement accuracy and reduces human involvement in hazardous areas. System performance evaluation yielded a Mean Average Precision (MAP) of 94%, Mean Absolute Error (MAE) of 1.53 seconds, Mean Percentage Error (MPE) of 16.86%, Pearson correlation coefficient (r) of 0.9975, standard deviation of 1.19, and variance of 1.41. These findings demonstrate that the developed visual detection system has strong potential as an effective and sustainable solution for optimizing heavy equipment operations in the field in a safe, efficient, and technology-driven manner.

Keywords: Cycle time, Excavator, OpenCV, Waterfall, Object detection, Heavy equipment productivity

© Copyright 2025
by Yuli Darmawan
All rights reserved



LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, karunia, dan kehendak-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Dengan penuh hormat dan kerendahan hati, karya ini saya persembahkan kepada Ibunda dan Ayahanda tercinta. Sebagai bentuk bakti dan ungkapan terima kasih yang mendalam atas segala doa, bimbingan, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah mereka curahkan sepanjang hidup saya. Semoga nilai-nilai dan semangat hidup yang ditanamkan akan senantiasa menjadi cahaya penuntun dalam setiap langkah saya.

Tesis ini juga saya dedikasikan kepada keluarga tercinta: istri saya, Anis Trihandayani, serta ketiga anak kami, Dafiya Nuurayda Darmawan, Abinaya Ar-Rasyid Darmawan, dan Izzudin Arrazi Darmawan. Kehadiran mereka merupakan sumber kekuatan dan kebahagiaan yang tak ternilai. Semoga kami senantiasa diberi rahmat untuk menjadi keluarga yang sakinah, mawadah, dan rahmah. Aamiin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Tanpa pertolongan-Nya, pencapaian ini tentu tidak akan terwujud.

1. Saya menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Maula selaku pembimbing utama dan Bapak Adit sebagai pembimbing pendamping, atas bimbingan, masukan, dan arahnya selama proses penulisan tugas akhir ini.
2. Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada para dosen pengajar kelas online SGU – UT_IE Batch 3: Kak Ivan, Kak Adit, Kak Sono, Bapak Gembong, Ibu Triarti, Bapak Maula, Bapak Edi Sofyan, dan Bapak Ahsan, atas ilmu dan kesabaran yang diberikan dalam proses pembelajaran.
3. Saya menghargai kebersamaan dan kerja sama dari teman-teman SGU – UT_IE Batch 3, khususnya rekan-rekan Group 1A Online 2: Arif Wicaksono, Herman Danang Duwicaksono, dan Mahendra Dwiki Kurniawan atas semangat dan kekompakan dalam menyelesaikan tugas-tugas bersama.
4. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Achmad Muslimin, selaku Site Manager UT Tanjung Redeb, atas dukungannya dalam pelaksanaan penelitian ini.
5. Yang tak kalah penting, saya persembahkan rasa terima kasih dan cinta yang mendalam kepada keluarga tercinta atas dukungan, doa, dan kasih sayang yang tiada henti, yang menjadi sumber kekuatan dan ketenangan selama proses ini.

Semoga segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan menjadi amal kebaikan dan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Aamiin.

DAFTAR ISI

STATEMENT BY THE AUTHOR.....	2
ABSTRAK.....	3
LEMBAR PERSEMBAHAN	6
UCAPAN TERIMA KASIH.....	7
DAFTAR ISI.....	8
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL.....	14
 BAB 1 PENDAHULUAN	 15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Rumusan Masalah.....	16
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Pertanyaan Penelitian.....	19
1.5 Hipotesis Penelitian	19
1.6 Manfaat Penelitian	20
1.7 Ruang Lingkup Penelitian	20
1.8 Sistematika Penulisan	20
 BAB 2 LANDASAN TEORI.....	 22
2.1 Tinjauan Pustaka	22
2.2 Teori Umum.....	23
2.2.1 <i>Excavator</i> dan Siklus Kerja	23
2.2.2 Manajemen Operasi dan Efisiensi Alat Berat.....	24
2.2.3 Computer Vision dan OpenCV	25
2.2.4 Metodologi Rekayasa Perangkat Lunak – Metode <i>Waterfall</i>	27

2.3 Perangkat Lunak	29
2.3.1 Visual Studio Code.....	29
2.3.2 Python.....	30
2.3.3 YOLO (You Only Look Once).....	30
2.3.4 Roboflow	33
2.3.5 Google Colaboratory (Google Colab)	34
2.4 User Acceptance Test (UAT).....	35
2.5 Technology Acceptance Model (TAM).....	35
2.6 Penelitian Terdahulu	36
 BAB 3 METODE PENELITIAN	 38
3.1 Pendekatan Penelitian	38
3.2 Metodologi Pengembangan Sistem.....	39
3.2.1 Analisa Kebutuhan (<i>Requirement Analysis</i>).....	39
3.2.2 Perancangan Sistem (<i>System Design</i>).....	39
3.2.3 Implementasi (<i>Implementation</i>).....	45
3.2.4 Pengujian Sistem (<i>Testing</i>).....	45
3.2.5 Penerapan (<i>Deployment</i>)	45
3.2.6 Pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	47
3.3 Data dan Pengolahan Data	48
3.4 Alat dan Bahan.....	50
3.5 Teknik Analisis Data.....	52
 BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	 53
4.1 Hasil Perancangan Sistem.....	53
4.1.1 Pembuatan Program dan User Interface	53
4.1.2 Perancangan Sistem <i>Database</i>	58
4.2 Pengujian Sistem.....	59
4.2.1. Pengujian Fungsional	59
4.2.2 <i>User Acceptance Testing (UAT)</i>	66

4.2.3 <i>Technology Acceptance Model (TAM)</i>	68
4.3 Analisis Evaluasi Sistem.....	80
4.2.1 Precision, Recall:	81
4.2.2 Waktu Deteksi (<i>Latency</i>):.....	81
4.2.3 <i>Robustness</i> terhadap Kondisi Lingkungan:	82
4.2.4 Selisih Rata-rata (<i>Mean Absolute Error / MAE</i>):	84
4.2.5 Persentase Error per Fase	86
4.2.6 Koefisien Korelasi (Pearson's <i>r</i>):	87
4.2.7 <i>Standard Deviation / Variance</i> :.....	88
4.4 Analisa evaluasi bisnis proses.....	89
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 92
5.1 Kesimpulan	92
5.2 Saran	93
5.3 Future Work (Pengembangan Lanjutan).....	93
 GLOSARIUM.....	 95
LAMPIRAN.....	99
DAFTAR PUSTAKA	102
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Simulasi masing – masing Task menggunakan Bizagi modeler.....	17
Gambar 2. 1 Kerangka Teoritis.....	22
Gambar 2. 2 Hubungan cycle time dan produktivitas.....	24
Gambar 2. 3 Ruang lingkup artificial intelligence.....	26
Gambar 2. 4 Metode waterfall	28
Gambar 2. 5 Visual Studio Code	29
Gambar 2. 6 Arsitektur YOLO	32
Gambar 2. 7 Paltform Roboflow.....	33
Gambar 2. 8 Google Colab for Data Analytics.....	34
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	38
Gambar 3. 2 Arsitektur Diagram Penelitian	39
Gambar 3. 3 Flowchart Program.....	41
Gambar 3. 4 Use Case Diagram.....	42
Gambar 3. 5 Class Diagram.....	44
Gambar 3. 6 Penerapan Pemantauan Lapangan di PT. XYZ.....	46
Gambar 3. 7 Penggunaan aplikasi di lapangan dan output reporting dari aplikasi.....	46
Gambar 3. 8 Anotasi Dataset melalui Roboflow	49
Gambar 3. 9 Images Dataset melalui Roboflow	49
Gambar 3. 10 Pengujian akurasi Dataset melalui Roboflow	50
Gambar 3. 11 Pelatihan dataset menggunakan google colaboratory	50
Gambar 3. 12 Paket Library OpenCV untuk aplikasi	51
Gambar 3. 13 Perangkat drone DJI Mavic 2 Pro dan aplikasi DJI GO 4.0	51
Gambar 4. 1 Program python untuk memanggil library	53
Gambar 4. 2 Program GUI menggunakan Tkinter memasukkan data pengukuran.....	54
Gambar 4. 3 Program GUI menggunakan Tkinter setting confidence level.....	55
Gambar 4. 4 Program GUI untuk main window	56

Gambar 4. 5 Antarmuka Sistem Deteksi Cycle Time Excavator.....	57
Gambar 4. 6 Perancangan dan hasil database pengukuran	59
Gambar 4. 7 Pengujian Deteksi Objek Excavator & Aktivitas.....	60
Gambar 4. 8 Pengujian Logging Detections	61
Gambar 4. 9 Pengujian Tombol Kontrol UI (Setting Confidence Level).....	62
Gambar 4. 10 Pengujian Tombol Kontrol UI (Setting pilih model .pt).....	63
Gambar 4. 11 Pengujian Pengujian Tombol Kontrol UI (Record)	63
Gambar 4. 12 Pengujian Timer & BCM (Bucket Count per Minute).....	64
Gambar 4. 13 Pengujian Status Log (Recording)	65
Gambar 4. 14 Pengujian Status Log (Recording Done)	65
Gambar 4. 15 Output file hasil pengukuran	66
Gambar 4. 16 Output file video recording dan database pengukuran .csv	66
Gambar 4. 17 User Acceptance Test (UAT).....	67
Gambar 4. 18 Kelompok jabatan dari responden.....	69
Gambar 4. 19 Pengalaman penggunaan tool oleh responden	69
Gambar 4. 20 Pertanyaan kategori PU ke – 1	71
Gambar 4. 21 Pertanyaan kategori PU ke - 2.....	71
Gambar 4. 22 Pertanyaan kategori PU ke - 3.....	71
Gambar 4. 23 Pertanyaan kategori PU ke - 4.....	72
Gambar 4. 24 Pertanyaan kategori PEOU ke - 1	72
Gambar 4. 25 Pertanyaan kategori PEOU ke - 2	73
Gambar 4. 26 Pertanyaan kategori PEOU ke - 3	73
Gambar 4. 27 Pertanyaan kategori PEOU ke - 4	73
Gambar 4. 28 Pertanyaan kategori ATU ke - 1.....	74
Gambar 4. 29 Pertanyaan kategori ATU ke - 2.....	74
Gambar 4. 30 Pertanyaan kategori ATU ke – 3	75
Gambar 4. 31 Pertanyaan kategori BI ke - 1	75
Gambar 4. 32 Pertanyaan kategori BI ke – 2	76
Gambar 4. 33 Pertanyaan kategori BI ke – 3	76
Gambar 4. 34 Pertanyaan kategori AU ke – 1	77
Gambar 4. 35 Pertanyaan kategori AU ke – 2	77
Gambar 4. 36 Heatmap korelasi pearson antar konstruk TAM	79
Gambar 4. 37 Confusion Matrix dan Precision-Recall Curve	81

Gambar 4. 38 Hasil Evaluasi Deteksi di Berbagai Kondisi	83
Gambar 4. 39 Perbandingan pengukuran manual dan otomatis	84
Gambar 4. 40 Simulasi masing – masing Task (setelah proyek)	90



DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Troughput Time Analysis	18
Tabel 2. 1 Tabel framework computer vision	26
Tabel 2. 2 Perbandingan YOLO dengan Algoritma lain	31
Tabel 2. 3 Hasil Penelitian Terdahulu.....	36
Tabel 3. 1 Aktivitas Maintenance Aplikasi.....	48
Tabel 3. 2 Spesifikasi Laptop Asus TUF Dash F15 FX516PM I736B6WO i7	51
Tabel 4. 1 Pengujian Deteksi Objek Excavator & Aktivitas	59
Tabel 4. 2 Pengujian Logging Detections.....	60
Tabel 4. 3 Pengujian Logging Detections.....	61
Tabel 4. 4 Pengujian Timer & BCM (Bucket Count per Minute)	63
Tabel 4. 5 Pengujian Status Log	64
Tabel 4. 6 List Pengujian User Acceptance Test (UAT)	67
Tabel 4. 7 Tabel Nilai Skala Likert.....	70
Tabel 4. 8 Nilai rata – rata tiap konstruk.....	78
Tabel 4. 9 hasil perhitungan statistik deskriptif tiap konstruk	78
Tabel 4. 10 Korelasi Pearson Konstruk	78
Tabel 4. 11 Analisa evaluasi aplikasi (1)	80
Tabel 4. 12 Kecepatan Pemrosesan Model Deteksi.....	82
Tabel 4. 13 Analisa evaluasi aplikasi (2)	84
Tabel 4. 14 Nilai rata – rata tiap fase	85
Tabel 4. 15 Nilai durasi manual berbanding deteksi object tiap fase	85
Tabel 4. 16 Selisih nilai manual dan deteksi object.....	85
Tabel 4. 17 Persentase error tiap fase	86
Tabel 4. 18 Koefisien Korelasi	87
Tabel 4. 19 Standard Variance	88
Tabel 4. 20 Kriteria penilaian standard deviation	89
Tabel 4. 21 Throughput Time Analysis setelah proyek.....	90