



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**IMPLEMENTASI PROTOTIPE TEKNOLOGI UAV UNTUK
OPTIMALISASI PEMBERSIHAN DINDING LUAR GEDUNG
(Tugas Khusus: Sistem Penyemprot)**

PROYEK AKHIR

**HAFIDH SHAFRIYAN PAMILIH
40040222650082**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

2026



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**IMPLEMENTASI PROTOTIPE TEKNOLOGI UAV UNTUK
OPTIMALISASI PEMBERSIHAN DINDING LUAR GEDUNG**

(Tugas Khusus: Sistem Penyemprot)

PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik**

**HAFIDH SHAFRIYAN PAMILIH
40040222650082**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

SEMARANG

2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : HAFIDH SHAFRIYAN PAMILIH

NIM : 40040222650082

Tanda Tangan :

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'H' followed by 'afidh' and 'Pamilih' in a cursive script.

Tanggal : 20 Juli 2026



SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. :533/PA/RPM/IV/2026

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Hafidh Shafriyan Pamilih
NIM : 40040222650082
Judul Proyek Akhir : Implementasi Teknologi UAV Untuk
Optimalisasi Pembersihan Dinding Luar Gedung
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Munadi S.T., M.T
NIP : 197706012003121004

Isi Tugas:

1. Merancang sistem penyemprotan *UAV quadcopter*
2. Merancang CNN (*Convolutional Neural Network*) untuk *Image Processing*
3. Melakukan pengujian dan analisis efektivitas pembersihan dengan *Image Processing*
4. Membuat laporan
5. Membuat HKI prototipe

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 09 Maret 2026
Ketua Prodi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik

Dr. Sri Utami Handayani S.T., M.T.
197609152003122001

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Hafidh Shafriyan Pamilih
NIM : 40040222650082
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir : Implementasi Teknologi UAV Untuk Optimalisasi Pembersihan Dinding Luar Gedung

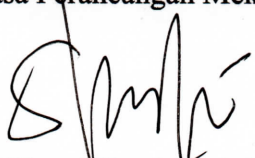
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing	: Prof. Dr.Eng. Munadi S.T., M.T.	()
Penguji 1	: Prof. Dr.Eng. Munadi S.T., M.T.	()
Penguji 2	: Didik Ariwibowo, S.T., M.T	()
Penguji 3	: Rofiq Cahyo Prayogo, S.T., M.T.	()

Semarang, 20 Juli 2026

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik


Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hafidh Shafriyan Pamilih
NIM : 40040222650082
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

demikian pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Implementasi Teknologi UAV Untuk Optimalisasi Pembersihan Dinding Luar Gedung”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 20 Juli 2026

Yang menyatakan



(Hafidh Shafriyan Pamilih)

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(Q.S Al-Baqarah ayat 286)

"Barangkali kamu hidup bukan untuk menjemput doamu, melainkan kamu adalah bentuk doa dari orang lain. Barangkali hidup memang bukan tentang doa yang kita panjatkan. Tapi juga doa yang Tuhan kabulkan melalui hidup yang kita hadirkan."

(Unknown)

"Hidup memang begitu indah, hanya itu yang kita punya"

(Bersandarliah – The Jeblogs)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul “Implementasi Prototipe Teknologi UAV Untuk Optimalisasi Pembersihan Dinding Luar Gedung”

Penyusunan laporan proyek akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang,
3. Prof. Dr.Eng. Munadi S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing selama penyusunan Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen dan teknisi yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
5. Kedua orang tua, Alm Bapak Suganda dan Ibu Suwarsilah yang telah memberikan doa serta dukungan kepada penulis sehingga mendapatkan pendidikan yang layak.
6. Saudara saya Dhany Rijal Arrasyid, yang telah memberikan dukungan moral.

7. Saudara Septian Erik Purnomo dan keluarga, Saudari Gilang Desy Permatasari dan keluarga, Bapak Kumaidi Abadi dan keluarga, serta seluruh tetangga yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama keberjalanan perkuliahan.
8. Teman-teman tim Proyek Akhir Anugerah Bintang Mahendra dan Joshua Adi Pratama, yang berjuang bersama dalam mengerjakan Proyek Akhir.
9. Teman-teman angkatan 2022 IRYASENA senasib dan seperjuangan dalam meraih pendidikan dan kelulusan.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang membangun.

Penulis berharap, semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan, diberi balasan kebajikan. Amin. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan para pembaca secara umum, baik dari kalangan akademis maupun yang lain.

Semarang, Juni 2026

Hafidh Shafriyan Pamilih

ABSTRAK

IMPLEMENTASI PROTOTIPE TEKNOLOGI UAV UNTUK OPTIMALISASI PEMBERSIHAN DINDING LUAR GEDUNG

Pembersihan fasad gedung bertingkat secara konvensional memiliki risiko keselamatan kerja yang tinggi dan memerlukan biaya operasional yang besar. Pemanfaatan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) menawarkan solusi alternatif yang lebih aman dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun wahana *quadcopter* pembersih fasad terintegrasi kecerdasan buatan, serta mengevaluasi efisiensi hidrodinamis penyemprotannya secara kuantitatif. Pengujian kinerja pembersihan dievaluasi menggunakan metode *Image-Based Static Evaluation* dengan memvariasikan tekanan pompa fluida (50 Bar dan 55 Bar) serta jarak penyemprotan (0,5 m; 1,0 m; dan 1,5 m). Algoritma visi komputer berbasis *Otsu Thresholding* dan Jaringan Saraf Tiruan diimplementasikan untuk mengekstraksi dan membandingkan luasan matriks piksel kontaminan sebelum dan pasca-penyemprotan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali wahana berhasil mengkompensasi gaya tolak balik (*recoil force*) hidrodinamis dari aktuator sebesar 12,73 Newton secara stabil. Evaluasi model kecerdasan buatan melalui *5-Fold Cross Validation* mencatatkan tingkat akurasi sebesar 81,89%. Dari aspek hidrodinamika, parameter operasional paling optimal dicapai pada manuver penyemprotan jarak konstan 1,0 meter dengan tekanan 55 Bar, yang menghasilkan persentase efisiensi pembersihan tertinggi sebesar 87,72%. Konfigurasi ini memberikan keseimbangan teknis terbaik antara retensi gaya tekan aktual (*acting force*) dengan keseragaman sebaran tetesan air (*uniform spray distribution*). Manuver pada jarak yang terlalu dekat (0,5 m) terbukti memicu efek saturasi percikan (*splashing*), sementara jarak yang terlalu jauh (1,5 m) mendegradasi kemampuan peluruhan noda hingga di bawah 50% akibat dispersi kinetik fluida dan hambat udara.

Kata kunci : UAV *Quadcopter*, Pembersih Fasad Gedung, *Computer Vision*

ABSTRACT

IMPLEMENTATION PROTOTYPE OF UAV TECHNOLOGY FOR OPTIMIZATION OF CLEANING OF EXTERIOR WALL BUILDINGS

Conventional high-rise building facade cleaning involves high occupational safety risks and requires significant operational costs. The utilization of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) offers a safer and more efficient alternative solution. This study aims to design and construct an artificial intelligence-integrated facade cleaning quadcopter and to quantitatively evaluate its hydrodynamic spraying efficiency. The cleaning performance was evaluated using the Image-Based Static Evaluation method by varying the fluid pump pressure (50 Bar and 55 Bar) and the spraying distance (0.5 m, 1.0 m, and 1.5 m). A computer vision algorithm based on Otsu Thresholding and Artificial Neural Networks was implemented to extract and compare the pixel matrix area of the contaminants pre- and post-spraying. The test results indicated that the vehicle's control system successfully and stably compensated for the hydrodynamic recoil force from the actuator amounting to 12.73 Newtons. The evaluation of the artificial intelligence model through 5-Fold Cross Validation recorded an accuracy rate of 81.89%. From a hydrodynamic perspective, the most optimal operational parameters were achieved at a constant spraying distance maneuver of 1.0 meter with a pressure of 55 Bar, which yielded the highest cleaning efficiency percentage of 87.72%. This configuration provided the best technical balance between the retention of the actual acting force and uniform spray distribution. Maneuvering at a distance that is too close (0.5 m) was proven to trigger a splashing saturation effect, while a distance that is too far (1.5 m) degraded the stain removal capability to below 50% due to fluid kinetic dispersion and aerodynamic drag..

Keywords : UAV Quadcopter, Drone Washer, Computer Vision

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
SURAT TUGAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Luaran.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Unmanned Aerial Vehicle Rotary-wing</i>	7
2.2 Stabilitas Kendali <i>Drone</i>	10
2.3 Kriteria Desain <i>Drone</i>	11
2.3.1 Mampu Terbang Dengan Stabil	12
2.3.2 UAV <i>Quadcopter</i> Dapat Mengintegrasikan Setiap Komponen Elektronik.....	12
2.3.3 Terdapat <i>Bracket</i> Untuk Sistem Penyemprot.....	12

2.3.4	<i>Flight Time</i>	13
2.3.5	<i>Drone</i> Mampu Beroperasi Pada Gedung Dua Lantai	13
2.3.6	<i>Drone</i> Mampu Terbang Dalam Radius 700 Meter	13
2.3.7	<i>Drone</i> Terdapat Proteksi Baling-Baling	14
2.4	Arsitektur Sistem UAV	14
2.4.1	Sistem Propulsi	14
2.4.2	Sistem Kendali dan Navigasi	17
2.4.3	Sistem Daya	19
2.4.4	Sistem <i>Payload</i>	21
2.5	Sistem Penyemprot Berbasis <i>Ground Pump</i>	22
2.6	Dinding Luar Gedung Material Kaca	23
2.7	Perhitungan Perancangan <i>Hardware</i>	23
2.7.1	Perhitungan <i>Thrust</i> UAV	23
2.7.2	Perhitungan <i>Flight Time</i>	24
2.7.3	Perhitungan Kebutuhan Pompa	26
2.7.4	Perhitungan Massa Air	30
2.7.5	Perhitungan Mekanika Fluida	31
2.7.6	Perhitungan Gaya Reaksi Penyemprotan	33
2.7.7	Perhitungan Gaya Tekan (<i>Acting Force</i>)	33
2.8	Konsep dan Fungsionalitas <i>Testbed</i> (Wahana Uji)	34
2.9	<i>Model Training</i>	35
2.10	<i>Training Environment Software</i>	37
2.11	<i>Image Processing</i>	38
2.11.1	Pengolahan Citra Digital (<i>Digital Image Processing</i>)	39
2.11.2	EfficientNet-B0	40
2.11.3	Perhitungan Akurasi Model	43
2.11.4	Perhitungan Efisiensi Pembersihan	45
BAB III METODE DAN PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR		47
3.1	Diagram Alir Penelitian	47
3.2	Perancangan <i>Hardware</i>	50
3.2.1	Komponen UAV	55
3.2.2	Massa Komponen UAV	56
3.2.3	Perhitungan Kebutuhan Gaya Angkat	56

3.2.4	Perhitungan <i>Flight Time</i>	57
3.2.5	Perhitungan Sistem Penyemprot	60
3.2.6	Perhitungan massa air	62
3.2.7	Desain 3D UAV	63
3.3	Perancangan <i>Software Flight Control</i>	64
3.4	Proses Perakitan dan Fabrikasi.....	65
3.4.1	Fabrikasi <i>Frame</i> UAV.....	65
3.4.2	Perakitan elektrik UAV	66
3.4.3	Perancangan Sistem Penyemprotan	67
3.5	Pengembangan Model <i>Deep Learning</i>	68
3.5.1	Pemilihan <i>Training Environment</i> dan <i>Software Environment Selection</i> 71	
3.5.2	Pelatihan Model	73
3.5.3	Pengujian Hasil Pelatihan Model	74
3.6	Integrasi Komponen Mekanikal	75
3.7	Metode Pengujian.....	76
3.7.1	Pengujian Sistem Propulsi	77
3.7.2	Pengujian Sistem Kendali dan Navigasi	77
3.7.3	Uji Terbang Dengan <i>Testbed</i>	77
3.7.4	Uji Terbang Tanpa Beban	78
3.7.5	Uji Terbang dengan Sistem Penyemprot.....	78
3.7.6	Pengujian Eksperimental Pompa	79
3.7.7	Pengujian Performa Pembersihan	79
3.7.8	Pengujian pengaruh jarak terhadap Gaya Tekan (<i>Acting Force</i>).....	80
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		83
4.1	Hasil	84
4.1.1	Analisis Pembebanan dan Gaya Berat Sistem (<i>Total Weight</i>).....	84
4.1.2	Analisis Gaya Aksi dan Reaksi Pada Permukaan Fasad	85
4.1.3	Analisi Uji Eksperimental Pompa.....	88
4.1.4	Analisis Pengaruh Beban Penyemprotan Terhadap Stabilitas Kendali 89	
4.1.5	Hasil Pelatihan Model	91
4.1.6	Hasil Evaluasi Pembersihan.....	97
4.2	Pembahasan	99

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	101
5.1 Kesimpulan.....	101
5.2 Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN.....	106

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Spesifikasi Pompa.....	26
Tabel 3.1 Komponen UAV	55
Tabel 3.2 Berat Komponen	56
Tabel 3. 3 Parameter Data Peyemprotan.....	60
Tabel 4. 1 Gaya Tekan Variasi Tekanan 70 bar.....	98
Tabel 4. 2 Gaya Tekan Variasi Tekanan 75 bar.....	98
Tabel 4. 3 Efisiensi Pembersihan	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rotary-Wing UAV	7
Gambar 2.2 Arah Rotasi Motor Quadcopter	9
Gambar 2.3 Gerakan Quadcopter	10
Gambar 2. 4 Free Body Diagram Drone	11
Gambar 2.5 Motor Brushless	15
Gambar 2.6 ESC	15
Gambar 2.7 Propeller	16
Gambar 2.8 Flight Controller	17
Gambar 2.9 GPS	18
Gambar 2.10 Radio Telemetry	18
Gambar 2. 11 Power Module	19
Gambar 2.12 Power Distribution Board.....	20
Gambar 2.13 Baterai	20
Gambar 2.14 Kamera	21
Gambar 2.15 Selang	21
Gambar 2.16 Rod	22
Gambar 2. 17 Desain <i>Testbed</i>	35
Gambar 2. 18 Workflow Model Training	36
Gambar 2. 19 Arsitektur CNN	40
Gambar 2. 20 Arsitektur EfficientNetB0	41
Gambar 2. 21 Grafik Perbandingan Model	43
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	48
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pelatihan Model	50
Gambar 3.4 Desain sistem elektrikal	51
Gambar 3.5 <i>Free Body Diagram</i> (FBD)	52
Gambar 3.6 3D design drone	64
Gambar 3. 7 Software Ardupilot Mission Planner	64
Gambar 3.8 3D Frame Drone	66

Gambar 3.9 Alur Proses Pengembangan Model	71
Gambar 3.10 Integrasi Komponen Mekanikal	76
Gambar 4. 1 Grafik Log Telemetry Penerbangan	90
Gambar 4. 2 Grafik Evaluasi Tingkat Akurasi Model	92
Gambar 4.3 Grafik Evaluasi Fungsi Kerugian	92
Gambar 4. 4 Metrik Evaluasi	94
Gambar 4. 5 Alur Pengujian Model	95
Gambar 4. 6 Kondisi Fasad Kotor	96
Gambar 4. 7 Hasil Pembacaan	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain 3D Drone	106
Lampiran 2. Data Training Image Processing.....	107
Lampiran 3. Source Code CNN	108
Lampiran 4. Source Code Perhitungan Pixel	108
Lampiran 5. Dokumentasi Uji Penerbangan	109

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pertama kali muncul Halaman
T	Thrust	23
W	Berat	23
m	Massa UAV	23
g	Gravitasi	23
N	Banyak Motor	24
A	Ampere	24
V	Tegangan Listrik	24
C	Kapasitas Baterai	24
I	Arus	24
E	Energi	24
P	Daya	24
t	Waktu	25
m	Satuan Panjang	26
m ²	Satuan Luas	26
Kg/m ³	Satuan Densitas	26
m/s	Satuan Kecepatan	26
m/s ²	Satuan Gravitasi	26
Bar	Satuan Tekanan	26
m ³ /s	Satuan Debit	26
A	Luas Penampang	26
D	Diameter	26
Q	Debit Air	26
v	Kecepatan Aliran	26
Re	Reynold Number	26
v	Viskositas Kinematik	27

f	Faktor Gesekan Darcy Weisbach	27
ϵ	Kekasaran Absolut	27
H	Head	27
K	Koefisien Kerugian (<i>Loss</i>)	28
L	Panjang	28
P	Tekanan	28
ρ	Densitas Air	28
V	Volume Air	29
m	Massa Air	30